NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ

FEN ve MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ DERGİSİ

Necmettin Erbakan University
Journal of Science and Engineering

CİLT: 5 SAYI: 2
YIL: 2023



e-ISSN: 2667-7989

NEU PRESS

NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ FEN VE MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ DERGİSİ
NECMETTIN ERBAKAN UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE AND ENGINEERING
E-ISSN: 2667-7989
Cilt/*Volume*: 5, Sayı/*Issue*: 2, (Aralık/*December*, 2023)
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*
Dr. Ahmet Burçin BATIBAY Necmettin Erbakan Üniversitesi,
Ph.D. Necmettin Erbakan University
Doç. Dr. Emrah MADENCİ, Necmettin Erbakan Üniversitesi,
Assoc. *Prof., Necmettin Erbakan University*
Doç. Dr. Nihat AKGÜNEŞ, Necmettin Erbakan Üniversitesi
Assoc. Prof., Necmettin Erbakan University

Yayına Hazırlık ve Mizanpaj Editörleri/*Layout Editors*
Arş. Gör. Behiç Selman ERDOĞDU *(Res. Asst.)*
Arş. Gör. Canan SEVİNÇ *(Res. Asst.)*
Arş. Gör. Dr. Merve ÖZCAN TÜRKMEN *(Res. Asst., Ph.D.),*

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 iki kez yayınlanan uluslararası hakemli bir dergidir.
Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering is a international bi-annual journal.

Alan Editörleri/*Editorial Board*

Prof. Dr. Ahmet BEYCİOĞLU	Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi
Prof. Dr. Ceyda ÖZFİDAN KONAKÇI	Necmettin Erbakan Üniversitesi
Prof. Dr. Gökhan ZENGİN	Selçuk Üniversitesi
Prof. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Prof. Dr. Mehmet Akif ERİŞMİŞ	Necmettin Erbakan Üniversitesi
Prof. Dr. Mesut UYANER	Necmettin Erbakan Üniversitesi
Prof. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK	Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Senar AYDIN	Necmettin Erbakan Üniversitesi
Doç. Dr. Alper ALVER	Aksaray Üniversitesi
Doç. Dr. Alper SİNAN	Akdeniz Üniversitesi
Doç. Dr. Aydın KARAKOCA	Necmettin Erbakan Üniversitesi
Doç. Dr. Ceyhun YILMAZ	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Doç. Dr. Derya BAL ALTUNTAŞ	Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi
Doç. Dr. Esra YALDIZ	Necmettin Erbakan Üniversitesi
Doç. Dr. Hüseyin Zahit SELVİ	Necmettin Erbakan Üniversitesi
Doç. Dr. Mehmet HACIBEYOĞLU	Necmettin Erbakan Üniversitesi
Doç. Dr. Mustafa Kürşat DEMİR	Necmettin Erbakan Üniversitesi
Doç. Dr. Mustafa YÖNTEM	Necmettin Erbakan Üniversitesi
Doç. Dr. Sedat PAK	Necmettin Erbakan Üniversitesi
Doç. Dr. Ummahan EGE ARSLAN	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Ali SARIBIYIK	Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Ali Serdar ECEMİŞ	Necmettin Erbakan Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Bilal ERVURAL	Necmettin Erbakan Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Emrehan YAVŞAN	Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Fatma BAYRAM SARİİPEK	Konya Teknik Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Kürşat ÖKSÜZ	Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Murat KARAKOYUN	Necmettin Erbakan Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa YALÇIN	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Vahit TONGUR	Konya Teknik Üniversitesi
Dr. Çiğdem AŞÇIOĞLU	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Dr. Rıza BÜYÜKZEREN	Necmettin Erbakan Üniversitesi
Dr. Yasemin TABAK	Tübitak MAM

Yayın ve Danışma Kurulu/*Editorial and Advisory Board*

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

İÇİNDEKİLER/*CONTENTS*

GO@Fe3O4 Katkılı Polimerik Kompozit Membranların Hazırlanması ve Karakterizasyonu ***Preparation and Characterization of GO/Fe3O4 Doped Polymeric Composite Membranes*** AKIN, İlker; Erhan ZOR, Haluk BİNGÖL	**Araştırma Makalesi** ***Research Article***	**38-52**
Kaynaklı Bağlantıya Sahip Karmaşık Bir Yapıda Goldak Modeli Kullanılarak Distorsiyonların ve Kalıntı Gerilmelerin Nümerik Analizler ile Belirlenmesi ***Determination of Distortions by Finite Element Analysis Using the Goldak Model in a Welded Joint Structure*** GÖKÇE, Barış; Osman Bahadır ÖZDEN	**Araştırma Makalesi** ***Research Article***	**53-64**
K En Yakın Komşu Algoritması ile Binalarda Enerji Verimliliği Tahmini ***Energy Efficiency Estimation in Buildings with K Nearest Neighbor Algorithm*** HACIBEYOGLU, Mehmet; Merve ÇELİK, Özlem ERDAŞ ÇİÇEK	**Araştırma Makalesi** ***Research Article***	**65-74**
Beta Regresyon Modelinde Yeni Bir Yanı Düzeltilmiş Tahmin Edicinin Performansı: Bir Monte Carlo Çalışması ***Performance of A New Bias Corrected Estimator in Beta Regression Model: A Monte Carlo Study*** ASAR, Yasin	**Araştırma Makalesi** ***Research Article***	**75-87**
İşaretler Aracılığıyla Harita Anlama Yeteneğini Artırma: Çocukların Bilişsel Gelişimine Dayalı Tematik Haritalar İçin İşaretler Geliştirme ***Enhancing Map Comprehension Via Symbols: Developing Symbols For Thematic Maps Based On Children's Cognitive Development*** JONUZİ, Edmond; Hüseyin Zahit SELVİ	**Araştırma Makalesi** ***Research Article***	**88-110**
Yüzey Pürüzlülüğünün Giderilmesinde Taşlama ve Manyetik Aşındırıcılar ile İşleme Yöntemlerinin Etkileri ***Effects of Grinding and Magnetic Abrasive Finishing Methods on Removal of Surface Roughness*** DEMİREL, Tuba	**Derleme Makalesi** ***Review Article***	**111-134**
Termik Santral Atığı Olan Kömür Külünün SBR Matrisli Bileşiklere İlave Edilmesinin Mekanik Özelliklere Etkisi ***Effect on Mechanical Properties of Addition of Coal Ash as Thermal Power Plant Waste to SBR Matrix Compounds*** BULBUL, Saban; Enes AYHAN, Hakan GÖKMEŞE	**Araştırma Makalesi** ***Research Article***	**135-146**
Hassas Nokta Konumlama (PPP) Yöntemindeki Hata Kaynaklarının Konum Belirleme Performansı Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi: PPPH Yazılımı Örneği ***Investigation of the Effects of Error Sources in Precise Point Positioning (PPP) Method on Positioning Performance: PPPH Software Example*** ERBAŞ, Nezih Furkan; İbrahim KALAYCI	**Araştırma Makalesi** ***Research Article***	**147-161**
Banach Uzaylarında Zenginleştirilmiş Daralmalarla İlişkilendirilen Bir İteratif Algoritma Üzerine Bazı Sonuçlar ***Some Results on an Iterative Algorithm Associated with Enriched Contractions in Banach Spaces*** KETEN ÇOPUR, Ayşegül	**Araştırma Makalesi** ***Research Article***	**162-172**

Türkiye'deki İnşaat Sektörünün Finansal Yapısına COVID-19 Etkisi ***The Impact of COVID-19 on the Financial Structure of the Construction Industry in Turkey*** BAHADIR, Fatih; Fatih Süleyman BALIK, Hüseyin Serdar YALÇINKAYA	**Araştırma Makalesi** ***Research Article***	**173-188**
Yeni Bir Esnek Küme İşlemi: Esnek İkili Parçalı Simetrik Fark İşlemi ***A New Soft Set Operation: Soft Binary Piecewise Symmetric Difference Operation*** SEZGİN, Aslıhan; Eda YAVUZ	**Araştırma Makalesi** ***Research Article***	**189-208**
Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması Kullanılarak Nakagami Dağılımı için En Çok Olabilirlik Tahmini ve Uygulamaları ***Maximum Likelihood Estimation for the Nakagami Distribution Using Particle Swarm Optimization Algorithm with Applications*** FAOURİ, Adi Omaia; Pelin KASAP	**Araştırma Makalesi** ***Research Article***	**209-218**
Derin Öğrenme Tabanlı Sıcaklık ve Nem Tahmini ***Deep Learning Based Temperature and Humidity Prediction*** ÖZEN, Fatih; Rana ORTAÇ KABAOĞLU, Tarık Veli MUMCU	**Araştırma Makalesi** ***Research Article***	**219-229**
Çok Seviyeli Görüntü Eşikleme Problemini Çözmek İçin Harmoni Aramalı Yeni Bir Hibrit Gri Kurt Optimizasyon Algoritması ***A Novel Hybrid Gray Wolf Optimization Algorithm with Harmony Search to Solve Multi-Level Image Thresholding Problem*** ÜNLÜ, Alper; İlhan İLHAN	**Araştırma Makalesi** ***Research Article***	**230-245**
Şilin Ataklarının Tek Sınıflı Destek Vektör Makinaları ile Tespiti ***Shilling Attack Detection with One Class Support Vector Machines*** AYAZ, Halil İbrahim; Zehra KAMIŞLI ÖZTÜRK	**Araştırma Makalesi** ***Research Article***	**246-256**
Bazı Tahta Malzemelerin Sertlik Değerlerinin Bilgisayar Destekli Vurma Testi ile Tahmini ***Prediction of Hardness Values of Some Wooden Materials Using Computer-Aided Tap Testing*** ORAL, İmran	**Araştırma Makalesi** ***Research Article***	**257-266**
Bakır (II) İyonu ve Histidin İçeren Polimerlerin *Saccharomyces cerevisiae* Mayası Üzerindeki Antifungal Etkileri ***Antifungal Activities of Copper (II) Ion and Histidine Incorporated Polymers on Yeast Saccharomyces cerevisiae*** ÇETİN, Kemal; Koray ŞARKAYA, Berna KAVAKCIOĞLU YARDIMCI	**Araştırma Makalesi** ***Research Article***	**267-277**
Kemometrik Veri Analiz Yaklaşımına Dayalı Senkron Floresans Spektroskopi Yöntemi: Mut (Mersin) Yöresi Zeytinyağları ve Rafine Yenilebilir Yağlarda Tağşiş Tespiti ***Synchronous Fluorescence Spectroscopy Method based on Chemometrics: Authentication of Extra Virgin Olive Oils Harvested in Mut (Mersin) Region and Refined Edible Oils*** ARSLAN, Fatma Nur; İsmail VARLI	**Araştırma Makalesi** ***Research Article***	**278-287**
Hastaların Acil Servis Seçimi İçin Q Seviyeli Bulanık MAIRCA Yöntemi Önerisi ***Q-Rung Orthopair Fuzzy MAIRCA Method Recommendation for Emergency Service Selection of Patients*** EFE, Burak, Leyla EFE	**Araştırma Makalesi** ***Research Article***	**288-298**

Cilt/*Volume*: 5, Sayı/*Issue*: 2, Aralık/*December*, 2023 Necmettin Erbakan Üniversitesi/Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi
E-ISSN: 2667-7989 *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*

Günümüzde Taşınmaz Değerleme Yöntemlerinin Hukuki ve Ekonomik Açıdan İncelenmesi **Derleme Makalesi** **299-308**
Examination of Today's Real Estate Valuation Methods from Legal and Economic Perspectives ***Review Article***
YURDAKUL, Ömer; Ali SAKLAN, Süleyman Savaş DURDURAN

Necmettin Erbakan Üniversitesi
Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi
Journal of Science and Engineering (NEJSE)
DOI: 10.47112/neufmbd.2023.8

Cilt: 5 Sayı:2 Yıl: 2023 | Araştırma Makelesi / Research Article | E-ISSN: 2667- 7989

GO@Fe_3O_4 Katkılı Polimerik Kompozit Membranların Hazırlanması ve Karakterizasyonu

İlker AKIN [1] Erhan ZOR [2] Haluk BİNGÖL [3]

[1] Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoteknoloji Bölümü, Konya, Türkiye, ilker0997@gmail.com *(Sorumlu Yazar/ Corresponding Author)*

[2] Necmettin Erbakan Üniversitesi, Ahmet Keleşoğlu Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, Konya, Türkiye, zorerhan@gmail.com

[3] Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü, Konya, Türkiye, halukbingol@gmail.com

Makale Bilgileri

Makale Geçmişi
Geliş: 12.06.2023
Kabul: 15.07.2023
Yayın: 31.12.2023
Anahtar Kelimeler:
Arsenik,
grafen oksit,
Fe_3O_4,
membran.

ÖZ

Son zamanlarda giderek artan tarımsal ve endüstriyel faaliyetler nedeniyle sentetik organik/inorganik maddeler ve metaller gibi zararlı ve zehirli kirleticilerin su kaynaklarına salınması kamuoyunda giderek artan bir endişe yaratmaktadır. Bu zehirli ve zararlı maddelerden arsenik, bazı bölgelerde su kaynakları için önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Arsenik zehirli, kanserojen ve her yerde bulunduğundan dünya çapında içme suyundan arseniğin giderimi önemlidir. Bu nedenle, içme suyundan arsenik giderimi için basit, daha az maliyetli ve çevre dostu tekniklerin geliştirilmesi gerekmektedir. Nanomalzemeler ile membranların güçlendirilmesi son zamanlarda yaygın olarak kullanılan bir yöntem haline gelmiştir. Ayrıca nano ölçekli inorganik katkı maddelerinin seçilip eklenmesiyle hazırlanan ince film nanokompozit hibrit malzemelerin kullanılması membran teknolojisine yeni bir boyut kazandırmıştır. Bu çalışmada, Fe_3O_4 nanoparçacıkları ile modifiye edilmiş grafen oksit (GO) katkılı polisülfon çözeltisinin gözenekli destek malzemesi üzerine kaplanması ile yüksek geçirgenlik ve reddetme oranına sahip nanomalzeme destekli membranlar geliştirilmiştir. Hazırlanan nanokompozit malzemeler ve membranlar taramalı elektron mikroskobu (SEM), atomik kuvvet mikroskobu (AFM), X-ışını fotoelektron spekrofotometresi (XPS) ve temas açısı (CA) teknikleri kullanılarak karakterize edilmiştir. Membran performans çalışmaları saf su geçirgenliği ve arsenik reddi çalışmaları ile gerçekleştirilmiş ve hazırlanan PSf bazlı nanokompozit membranlarda farklı GO/Fe_3O_4 oranlarında dahil olmak üzere yüksek performans gözlemlenmiş ve %95 arsenik reddi oranına ulaşılmıştır.

Preparation and Characterization of GO/Fe_3O_4 Doped Polymeric Composite Membranes

Article Info

Article History
Received: 12.06.2023
Accepted: 15.07.2023
Published: 31.12.3023

Keywords:
Arsenic,
graphene oxide,
Fe_3O_4,
membrane.

ABSTRACT

The release of harmful and toxic pollutants such as synthetic organic/inorganic substances and metals into water resources due to increasing agricultural and industrial activities in recent times has been creating increasing public concern.Arsenic, one of these toxic and harmful substances, poses a significant threat to water resources in some regions. Removal of arsenic from drinking water is important worldwide because arsenic is toxic, carcinogenic and ubiquitous. Therefore, it is necessary to develop simple, less costly and environmentally friendly techniques for arsenic removal from drinking water. Strengthening membranes with nanomaterials has recently become a widely used method. In addition, the use of thin-film nanocomposite hybrid materials prepared by selecting and adding nano-scale inorganic additives has added a new dimension to membrane technology. In this study, nanomaterial supported membranes with high permeability and rejection rate were developed by coating the polysulfone solution modified with Fe_3O_4 nanoparticles on the porous support sheet material. The prepared nanocomposite materials and membranes were characterized using scanning electron microscopy (SEM), atomic force microscopy (AFM), X-ray photoelectron spectrophotometer (XPS) and contact angle (CA) techniques.Membrane performance studies have been carried out with pure water permeability and arsenic rejection studies and prepared PSf-based including at different GO/Fe_3O_4 ratios in the nanocomposites membranes have been observed high performance and achieved 95% arsenic rejection rate.

Atıf/Citation: Akın, İ.; Zor, E. & Bingöl, H. (2023). GO@Fe_3O_4 katkılı polimerik kompozit membranların hazırlanması ve karakterizasyonu, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, *5*(2), 38-52. https://doi.org/10.47112/neufmbd.2023.8

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

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Çevrede olan olumsuz gelişmelerden insanların çoğu bilgisiz ve habersizdir. Herşeyden önce çevre bilincinin insanoğlunda oluşması gerekmektedir. Çevre kirliliği denildiğinde insanlarda uyanan kavram sadece dışarda gözle gördüğümüz çöp, moloz atığı, pis su vb. görüntüleridir. Aslında bir bütün olarak düşünüldüğünde oluşan kavram karmaşası bilimsel değişmez kavramların yanlış öğrenilmesine neden olmaktadır. Kavram karmaşasını belirleyebilmek için ve ortadan kaldırmak için çok sayıda araştırma yapılmış ve yeni öğrenme yöntemleri geliştirilmeye çalışılmıştır [1]. Bunların duyurulması, yayılması ve çevre korunmasının hakkında bilinçlendirme çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Genellikle bu yayılım çalışmaları TV, dergi, gazete vb. yöntemlerle sağlanmaktadır. Çevre ile ilgili dergileri takip edenlerin çevre okuryazarlığı, takip etmeyenlere göre anlamlı derecede yüksektir. Benzer şekilde, çevre ile ilgili yayını sosyal medya veya televizyon aracılığıyla takip edenlerin çevre okuryazarlığı düzeyi, izlemeyenlere göre anlamlı biçimde yüksek olduğu görülmektedir [2]. Son zamanlarda giderek artan tarımsal ve endüstriyel faaliyetler nedeniyle sentetik organik/inorganik maddeler ve metaller gibi zararlı ve zehirli kirleticilerin su kaynaklarına salınması kamuoyunda giderek artan bir endişe yaratmaktadır. Bu zehirli ve zararlı maddelerden arsenik, bazı bölgelerde su kaynakları için önemli bir tehdit oluşturmaktadır [3,4]. Arsenik, hem volkanik emisyon, biyolojik aktivite gibi doğal kaynaklar hem de altın madenciliği, petrol arıtma, arsenikli herbisitler ve böcek ilaçları kullanımı gibi antropojenik kaynaklar yoluyla suya geçer [5]. Arsenik zehirli, kanserojen ve her yerde bulunduğundan dünya çapında içme suyundan arseniği çıkarmak önemlidir. İçme suyu yoluyla arsenik maruziyetinin başlıca sağlık sorunu, lenfatik, mesane, deri, akciğer ve karaciğer kanseri riskidir [6,7]. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), arsenik içeren suların neden olduğu kanser hastalıkları nedeniyle, ülkelerin büyük bir bölümü için içme sularındaki maksimum arsenik seviyesini standart değer olarak 10 ppb olarak belirlemiştir [8]. Bu nedenle, içme suyundan arsenik giderimi için basit, daha az maliyetli ve çevre dostu tekniklerin geliştirilmesi çok arzu edilmektedir. Arseniğin içme suyundan uzaklaştırılması ve kontrolüne yönelik sıkı düzenlemeler ve su arıtma proseslerinin kısıtlamaları nedeniyle yeni teknolojiler aramak büyük ilgi görmektedir [9-11]. İçme suyundan arsenik gidermeye yönelik mevcut teknolojiler birlikte çökeltme, adsorpsiyon ve membran yöntemlerine dayanmaktadır. Son yıllarda aktif Al_2O_3 [12], Fe_2O_3 kaplı kum [13], iyon değiştirici reçine [14], doğal demir cevherleri [15], karbon bazlı adsorbanlar [16,17], ucuz ve kolay bulunabilen mineral malzemeler [18], biyosorbentler [19,20], işlevselleştirilmiş grafen nano-tabakalar [21], Fe_2O_3-grafen [22-23], $Fe(OH)_3$-GO [24], Fe_3O_4-GO [25] gibi grafen oksit(GO) bazlı malzemeler, UiO66/PANI gibi metal-organik yapılar [26], manyetik Fe_3O_4-rGO [27] ve Fe_3O_4-MnO_2-rGO [28] nanokompozitleri sudan arsenik giderimi için adsorban olarak kullanılmaya çalışılmıştır. Birlikte çöktürme ve adsorpsiyon yöntemlerinin ana dezavantajları, aşırı kimyasal işlem gerektirmesi, yüksek işletme maliyeti ve daha da önemlisi, emici ve/veya çamurun işlenmesi ve ortamın yenilenmesi gerekliliğidir. Bu nedenle, sudaki arseniğin giderimi için mevcut yöntemler içerisinde, US EPA tarafından öngörülen içme suyunda düşük düzeyde arsenik miktarını elde etmek için membran bazlı yöntemler daha çok tercih edilen yöntemlerdir [29]. Membran bazlı sistemde prosesin düşük basınçta çalışması enerji tüketiminde avantaj sağlamaktadır. Ancak membran esaslı sistemin daha düşük basınçta çalıştırılmasındaki tek sorun, basıncın düşmesi sonucu reddin azalmasıdır. Nanoteknolojideki son gelişmeler sayesinde, karbon nanotüpler(CNT'ler) [30] ve GO [31] gibi karbon bazlı nanomalzemeleri membran yapısına [32,33]. Özellikle günümüzde membran araştırmalarında grafen ve grafen oksit yüksek mekanik dayanımı, kimyasal kararlılığı ve yüksek yüzey alanı nedeniyle büyük ilgi görmektedir. Grafen oksit ve türevlerinin membranlarda kullanımı iki yönden incelenebilir. [34, 35]. Birincisi, grafen oksit doğrudan membran aktif ayırma katmanı olarak kullanılır [36-38] ve ikincisi, membran performansını geliştirmek için bir polimer karışımında GO ve/veya grafen oksit türevlerine katılır [39-42]. Bu çalışmanın amacı, sudan arsenatın atılması için bir PSf-GO@Fe_3O_4 nanokompozit membranın hazırlanması ve karakterize edilmesidir. GO@Fe_3O_4 nanoparçacıkları, PSf matrisine hidrofilik bir ajan olarak uygulandı ve membranlar, faz ters çevirme polimerizasyon işlemi ile elde edildi. Üretilen membran yapıları ve özellikleri, taramalı elektron mikroskobu (SEM), temas açısı (CA), atomik kuvvet mikroskopisi (AFM) ve gözeneklilik ölçümleri kullanılarak karakterizasyon analizleri gerçekleştirildi. Membranların performansı; saf su akışı ölçümü ve arsenat giderimi ile değerlendirildi.

MATERYAL VE METOT (MATERIALS AND METHODS)

Materyal

$GO@Fe_3O_4$ kompozit ve $PSf\text{-}GO@Fe_3O_4$ nanokompozit membranın hazırlanması ve deneyleri için kullanılan tüm kimyasallar analitik saflıkta temin edildi. Grafit tozu (<45 µm, ≥%99,99 eser metal bazında, ürün kodu: 496596), Polisülfon (Mw-35000, ürün kodu: 428302), DMF(analitik saflıkta ≥99.8%, ürün kodu: 319937), konsantre H_2SO_4 (%99,999, ürün kodu: 339741), H_3PO_4 (analitik saflıkta ≥85 %wt, ürün kodu: 438081), H_2O_2 (%30, ürün kodu: H1009) ve $KMnO_4$ (analitik saflıkta %99, ürün kodu: 223468), Sigma-Aldrich Co., Almanya'dan satın alınmıştır. Arsenik standart çözeltisi(0,5 mol/L HNO_3 içinde H_3AsO_4'dan hazırlanmış 1000 mg/l As içeren standard çözelti, ürün kodu: 119773), NaOH(palet görünümlü, ürün kodu: 106462) ve ultrasaf HCl (%30, ürün kodu: 100318) Merck Co.'dan (Darmstad, Almanya) temin edildi. Tüm sulu çözeltilerin hazırlanışında ultra saf su kullanıldı.

GO, $GO@Fe_3O_4$ kompozit ve $PSf\text{-}GO@Fe_3O_4$ nanokompozit membranların hazırlanması

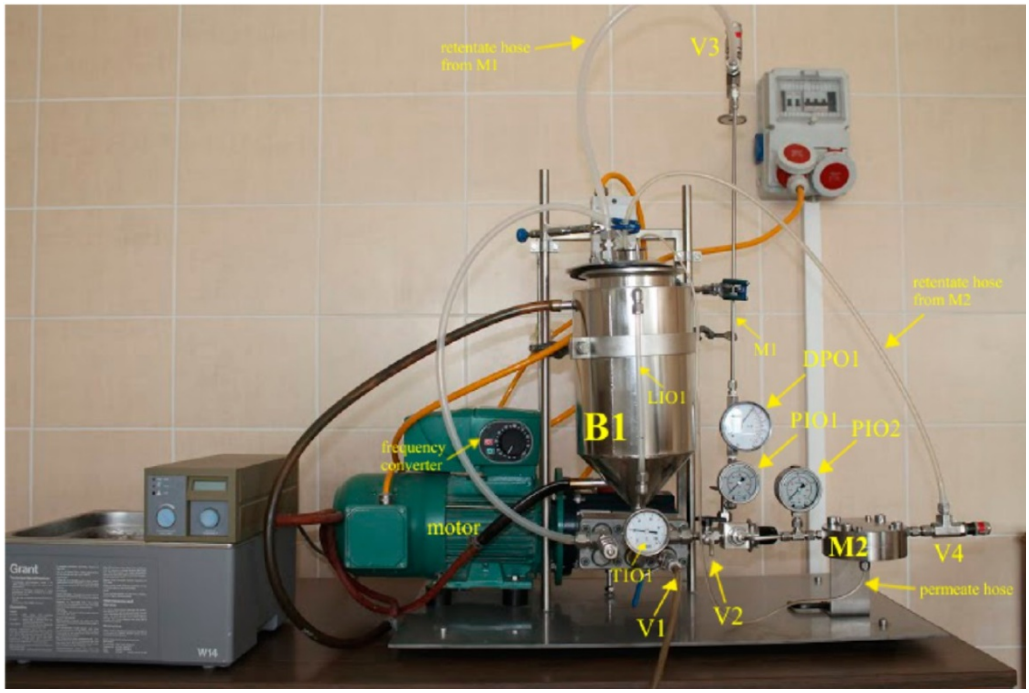
Fe_3O_4@GO'nun hazırlanması iki adımda gerçekleştirildi. İlk adımda, grafen oksit (GO), grafit tozundan modifiye edilmiş bir Hummers yöntemi [43] ile ilave bir preoksidasyon işlemi ile sentezlendi. Bu adım için 1,0 g grafit tozu, $K_2S_2O_8$ (0,5 g), konsantre H_2SO_4 (10 mL), ve P_2O_5 (0,5 g) karışımında 80 ˚C'de 2 saat ve ortam koşullarında 22 süre karıştırılarak önceden oksitlendi. Karışım daha sonra ultra saf su ile seyreltildi, süzüldü ve 50 ˚C'de vakumlu etüvde kurutuldu. Daha sonra elde edilen, GO üretimi için $KMnO_4$ (6,0 g) dahil olmak üzere konsantre H_2SO_4/H_3PO_4 (120:12 mL) karışımı içinde değiştirilmiş yöntemle yeniden oksitlendi. İkinci adım olarak, literatürdeki [44,45] yöntemi takip edilerek Fe_3O_4@GO kompoziti hazırlandı: Bu amaçla, 100 mL seyreltik sulu NaOH (pH 12) çözeltisine GO (40 mg) ilave edildi ve 3 saat sonike edildi. Daha sonra diyalizat nötr hale gelinceye kadar diyaliz işlemi uygulandı. Son olarak, 20 mL'ye yoğunlaştırıldı ve 50 mL'lik yuvarlak dipli bir şişeye aktarıldı. Şişe, 30 dakika boyunca N_2 ile temizlendi. Başka bir şişede, 5 mL'lik sulu bir $FeCl_3.6H_20$ (16,0 mg) ve $FeCl_2.4H_20$ (254,5 mg) solüsyonu yeni hazırlandı, 30 dakika N_2 ile temizlendi ve ardından GO dispersiyonu üzerine aktarıldı. Karışım, N_2 atmosferi altında gece boyunca karıştırıldı. Daha sonra N_2 altında 30 dakikada amonyak sulu solüsyonu (4 mL-7,5 M) damla damla ilave edildi. Karışım, 65 °C'de 1 saat karıştırıldı ve daha sonra ortam sıcaklığına kadar soğutuldu. Nihai santrifüjlendi (4000 rpm, 10 dakika) ve damıtılmış su ile nötr pH'a kadar iyice durulandı ve 50 ˚C'de vakumlu bir etüvde kurutuldu. $PSf\text{-}GO@Fe_3O_4$ nanokompozit membran literatürde belirtildiği gibi hazırlanmıştır [46]. PSf döküm çözeltisi, homojen polimer çözeltisi elde etmek için polimerin (%15, w/w) 300 rpm'de 24 saat karıştırılarak DMF içinde çözülmesiyle hazırlandı. Elde edilen polimer solüsyonu, önceden belirlenmiş miktarda (%0,1-2 w/w) DMF solventi içinde karıştırılmış $GO@Fe_3O_4$ ilave edildi. Daha sonra çözelti, döküm çözeltisinde bir homojenleştirici yardımıyla homojen bir dispersiyon $GO@Fe_3O_4$ elde etmek için 1 saat karıştırıldı. Dokunmamış kumaş desteği (Hollytex 3329) üzerinde $GO@Fe_30_4$ içeren polisülfon tabakasını kaplamak için bir döndürerek kaplayıcı (Laurell Model WS-400A-6NPP/LITE) kullanıldı. Daha sonra destek, faz inversiyon polimerizasyonunu tamamlamak için oda sıcaklığında 5 dakika su banyosuna daldırıldı.

$PSf\text{-}GO@Fe_3O_4$ Nanokompozit Membranların Karakterizasyonu

Nanokompozit membranların karakterize edilmesi amacıyla SEM, AFM ve CA ölçümleri kullanılmıştır. Nanokompozit membranların yapıları ve morfolojileri bir SEM (EVO-LS 10, Carl Zeiss, Almanya) kullanılarak görüntülendi. AFM görüntüleri, bir Park XE7 cihazının dokunma modundan elde edildi. Ortalama pürüzlülük değerini (Ra) elde etmek için her bir zarın üç farklı bölgesinin AFM görüntüleri 10 µm x 10 µm'lik alanda görüntülendi. Hazırlanan nanokompozit membranların CA'sını ölçmek için sapsız damla yöntemi uygulanmıştır [42]. CA ölçümleri, her bir nanokompozit membran üzerindeki üç farklı lokasyonun ortalama değeri olarak elde edildi. Bir şırınga yardımıyla membran yüzeyine 5 µL'lik ultra saf su damlası yerleştirildi ve CA yatay ışın karşılaştırıcısı (KSV CAM 200) ile ölçüldü ve damlacığın büyütülmüş görüntüsü bir kamera ile kaydedildi. Bu görüntülerden hesaplama yazılımı ile statik temas açıları elde edildi.

Membranların Pilot Sisteminde Performans Çalışması

Prozesstechnick GmbH'nin pilot sisteminin akış şeması Şekil 1'de gösterilmektedir. Pilot sistem, bir frekans transformatörü ile kontrol edilen bir diyafram kuvvet pompası, ısıtma/soğutma ceketli besleme tankı ve düz levha membranlar için membran muhafazasından oluşur.



Şekil 1. *Membran arsa tesisinin akış diyagramı. (M2: membran muhafaza; B1: sıcaklık kontrollü besleme tankı; PI01 ve PI02: manometre; DP01: basınç göstergesi; LI01: besleme tankındaki seviye kontrol göstergesi; TI01: sıcaklık göstergesi, V1 ve V2: tahliye valfi; V3: basınç düzenleme valfi; V4: yaylı valfi)*

Membranın su taşıma davranışını belirlemek için saf su akışı kontrol edilerek membran performansı incelenmiştir. Ayrıca membranlara arsenat (As giderimi çalışması uygulandı. 44 cm^2 açık alana sahip düz levha konfigürasyonlu membranlar incelenmiştir. Arsenat çözeltisi, hazırlanan H_3AsO_4 stok çözeltileri (1000 µg/L) istenen konsantrasyonlara seyreltilerek distile su içinde hazırlandı. Spesifik deneylerde, besleme suyunun bileşimi ve çalışma basıncı aşağıdaki gibi seçilmiştir:

Her deneyin başında besleme suyunun (2,5 L) pH'ı 0,1 M HCl ilave edilerek istenilen pH değerine ayarlanmış ve besleme suyu tankına yerleştirilmiştir. Pilot sistem, süzüntü geri dönüşüm modunda çalıştırıldı. Deneysel koşullar altında en az 2 saat koşullandırıldıktan sonra her deney için yeni bir membran kullanıldı ve ardından ölçüm dizisi başlatıldı. Her saat permeat örnekleri alınarak arsenik konsantrasyonları belirlendi. Her iki arsenatın giderimi denklem (1)'e göre hesaplandı.

$$\text{As reddi (\%)} = [1- (C_p/C_f)]100 \qquad (1)$$

Burada; Cp ve Cf sırasıyla permeat ve besleme solüsyonunun konsantrasyonudur.

Gözeneklilik ve Gözenek Boyutu

Gözeneklilik (ε), aşağıdaki denklem de(2)[47] belirtildiği gibi gravimetrik yöntemle belirlenmiştir.

$$\varepsilon = (\omega_1 - \omega_2) / Ald_w \qquad (2)$$

Burada; ω_1: Membranın ıslak ağırlığı; ω_2: Membranın kuru ağırlığı; A: Membranın aktif alanı; dw: Suyun

yoğunluğu; l:Membran kalınlığı. Tüm testler üç kez tekrarlandı ve ortalama değerler dikkate alındı.

Ayrıca membran ortalama gözenek yarıçapını (rm) belirlemek için saf su akışı ve gözeneklilik verilerine dayanan Guerout-Elford-Ferry denklemi (eq 3) kullanılmıştır [47,48].

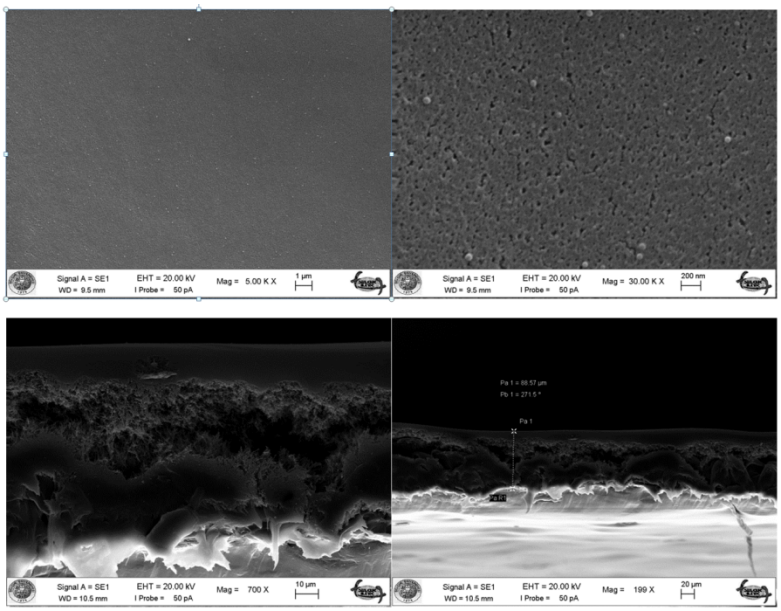
$$r_m = \sqrt{[(2{,}9 - 1{,}75\varepsilon)8\eta lQ]/(\varepsilon\ x\ A\ x\ \Delta P)}$$

Burada; η: su viskozitesi ($8{,}9 \times 10^{-4}$ Pa s); Q: geçirgenlik oranı ($m^3\ s^{-1}$) ve ΔP: işletme basıncıdır (1 MPa).

BULGULAR (RESULTS)

PSf-GO@Fe_3O_4 nanokompozit Membranların Karakterizasyonu

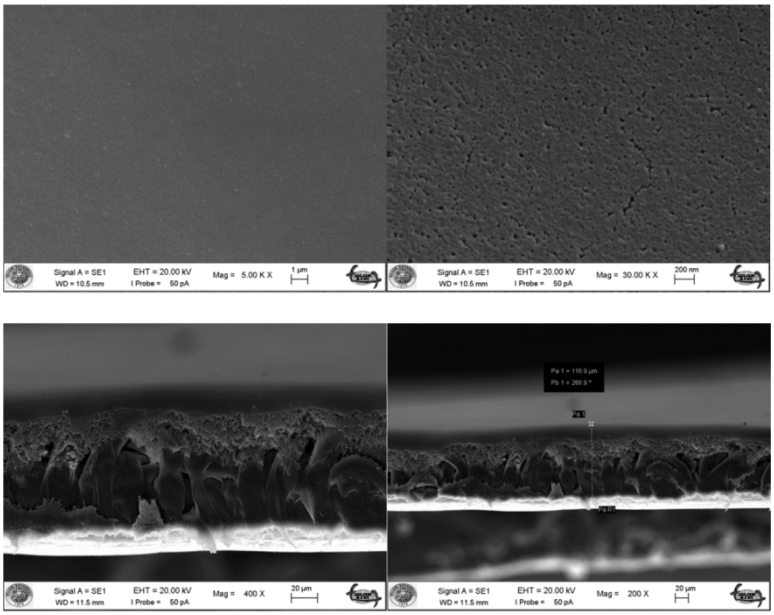
Elde edilen GO ve GO/Fe_3O_4 nanopartikülleri ve polimer matriks içerisinde farklı oranlarda hazırlanan çözeltiler destek malzemesi olan Hollytex üzerine spin kaplayıcı ile kaplanmış ve membran karakterizasyon işlemleri SEM(membran kesit ve yüzey) ve AFM teknikleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 2- Şekil 6'da farklı oranlarda hazırlanan (%0,2-2 GO/Fe_3O_4 içeren) PSf ve PSf-GO/Fe_3O_4 nanokompozit membranların SEM görüntüleri verilmektedir. Alınan görüntülerde görüldüğü üzere farklı büyütme oranlarında yüzey ve kesit görüntüleri alınmıştır. Şekil 2'de boş PSf membranın pürüzsüz yüzeyi görülmekte ve yüzeyinde çok az miktarda polimer topaklaşması gözlenmektedir.



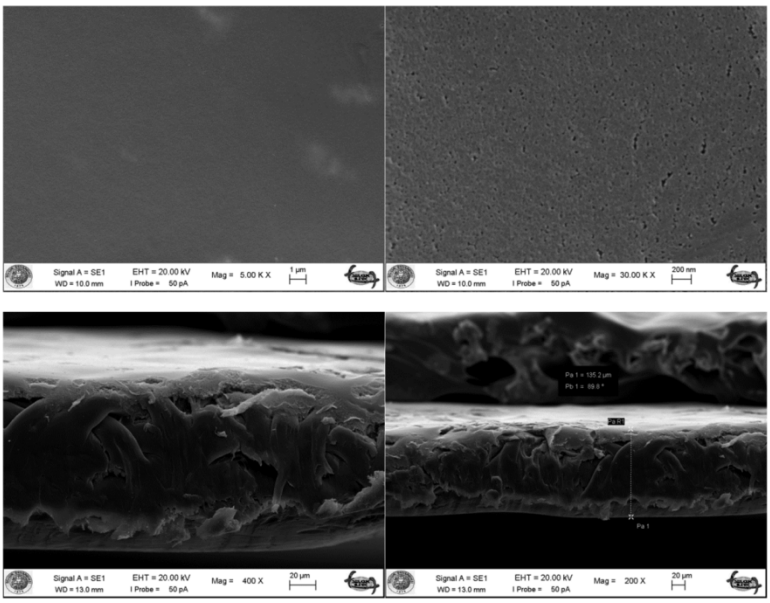
Şekil 2. *Kör (Psf) membranın SEM görüntüleri*

Şekil 3'te görüldüğü gibi, boş PSf membranının yüzeyine göre daha pürüzsüz bir yüzey ortaya çıkmaktadır. Literatürde de; TiO_2, silika, ZnO, PANI/Fe_3O_4 ve Al_2O_3 gibi karbon bazlı olmayan nanoparçacıklar ilavesi yüzeyde görülen polimer topaklaşmasının arttığı görülmüştür[34,49]. Ancak CNT gibi karbon bazlı hazırlanan membranlarda bu aglomerasyon ve agregasyon gözlenmemiştir. Bu sonuçlar, GO/Fe_3O_4'ün polimer matriks içerisinde homojen bir şekilde karıştırılmasıyla elde edilen membranda da görülmüştür.

Polimer matriks içerisindeki GO/Fe_3O_4 miktarının artması ile yüzeydeki pürüzlülük azalmaktadır fakat kesit görüntülerinden de görüldüğü gibi polimer matriks içerisinde kalınlığın arttığı ve ağ yapısının azaldığı görülmektedir. Şekil 5'te polimer matriks içerisine bol miktarda GO/Fe_3O_4 ilave edilerek elde edilen nanokompozit membranda topaklanmanın ortadan kalktığı ve başlangıçtaki makro boşlukların oluştuğu ve membran kalınlığının tekrar azalmaya başladığı görülmektedir. Bu durumun olası açıklaması, GO/Fe_3O_4'ün

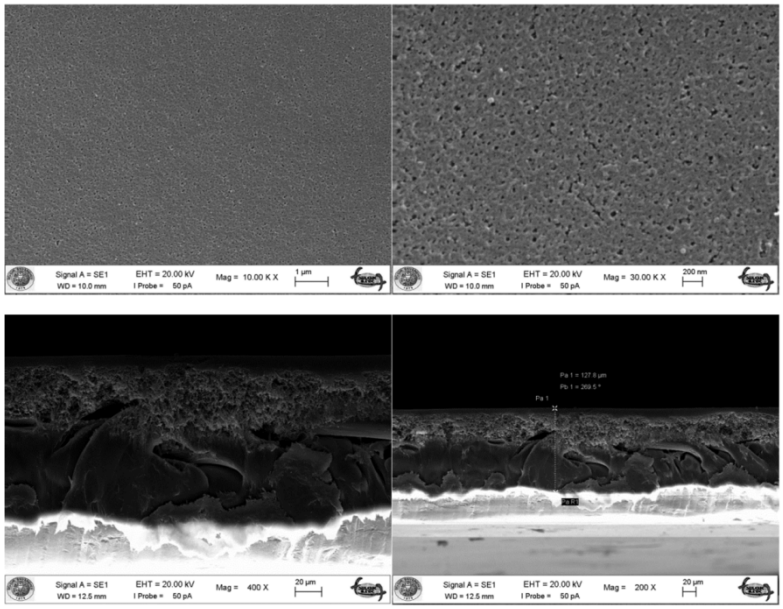


Şekil 3. *%0,2 PSf-GO/Fe_3O_4 membranın SEM görüntüleri*

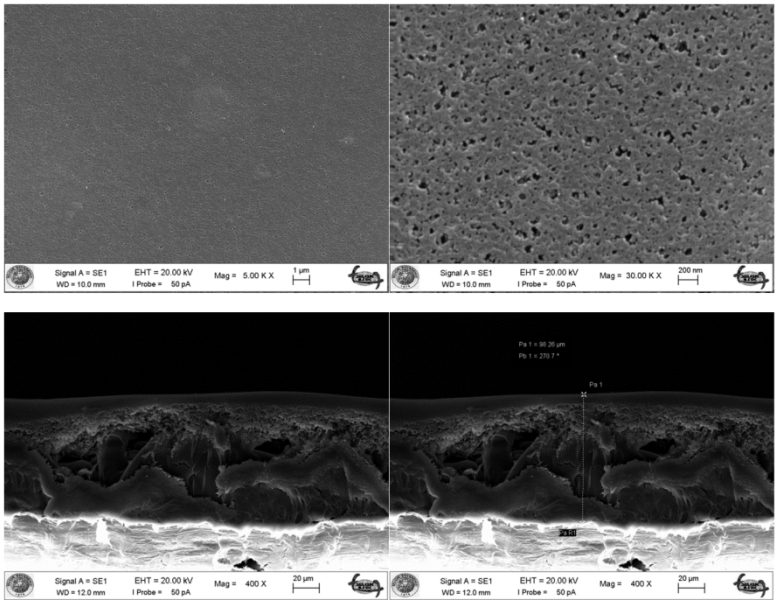


Şekil 4. *%0,5 PSf-GO/Fe_3O_4 membranın SEM görüntüleri*

doğal hidrofilik doğasının temeli olarak verilebilir ve ayrıca bu gözenek boyutundaki değişiklik, faz ters çevirme polimerizasyonu sırasında çözücü ve çözücü olmayanın hızlı yer değiştirmesi ile açıklanabilir. Ayrıca Şekil 6.'da görüldüğü gibi polimer matriks içerisindeki Fe_3O_4 nanopartikül içeriğini arttırmaya devam ettiğimizde membran yüzeyindeki porozitenin arttığı ve membran kalınlığının azaldığı gözlemlenmiştir.



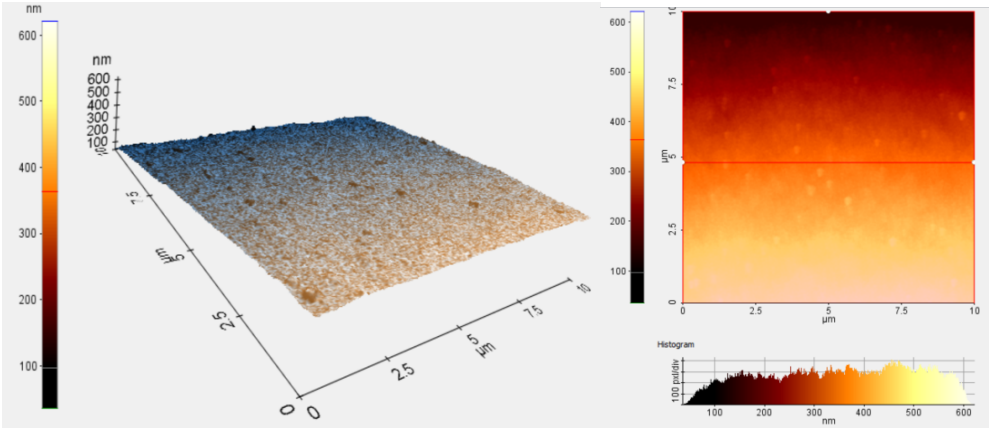
Şekil 5. *%1 PSf-GO/Fe_3O_4 membranın SEM görüntüleri*



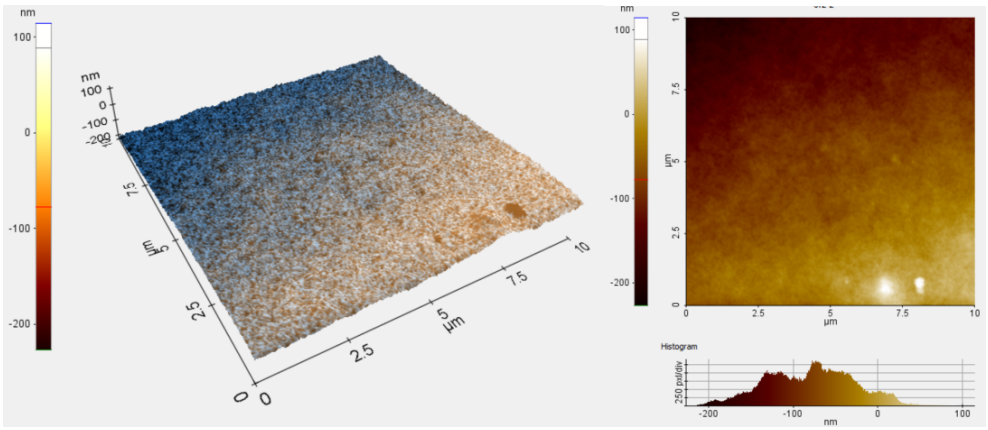
Şekil 6. *%2 PSf-GO/Fe_3O_4 membranın SEM görüntüleri*

Şekil 7 - Şekil 11'de, farklı oranlarda boş PSf ve Fe3O4 içeren PSf/Fe_3O_4 nanokompozit membranların XE7 (Park Systems) AFM ile 2D ve 3D görüntülemeyle yüzey topolojisi alınmıştır. AFM görüntülerine bakıldığında membranların yüzeylerinin pürüzlü olduğunu görülmektedir. AFM görüntülerinden elde edilen sonuçlarda yüzey pürüzlülüğü %1 GO/Fe_3O_4 içeriğine kadar artmaktadır. Ancak %1 ve %2 GO/Fe_3O_4 içeren nanokompozit membranlarda yüzey pürüzlülüğü azalır. Benzer sonuçlar, Akın ve ark. (2014)[49] tarafından yapılan PSf-rGO/PANI kompozit membran çalışmasında, GO/Fe_3O_4'ün hidrofilik karakterinden dolayı faz ters çevirme polimerizasyonu sırasında solvent molekülleri ile çözücü dışındaki yapılar arasındaki sürekli yer değiştirmeden dolayı olduğu gözlemlenmiştir. Literatürde farklı bir yaklaşımla pürüzlülük değerlendirmesinide inceleyecek olursak, diş minesi üzerinde farklı diş macunları ile yapılan pürüzlülük ölçümlerinde de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Benzer içerikli diş macunu yapısına katkılanan silika oranlarında ki değişiklik diş minesi üzerindeki ölçülen pürüzlülük değerlerini değiştirdiği görülmüştür. Material ne olursa olsun belirli bir doygunluktan sonra her ne kadar katkılanan madde mikratını artırısakda pürüzlülük değerlerinde aşırı bir değişiklik gerçekleşmiyor[50]. Pürüzlülük değerleri nanopartikül içeren PSf esaslı kompozit membranların (Ra) değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Tablodan da görüleceği üzere polimer matristeki hidrofilik karakter arttıkça

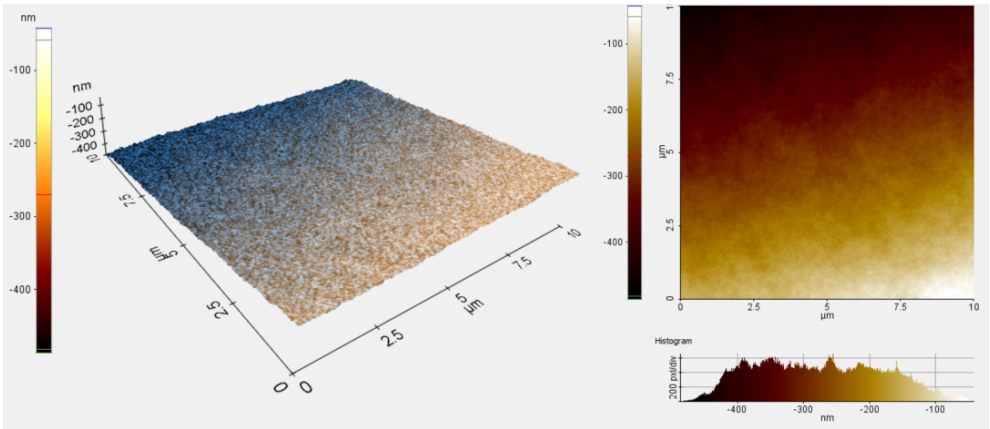
yüzey pürüzlülüğü azalmakta, aglomerasyon hızı azalmakta ve daha homojen yüzeyler elde edilmektedir[48,51].



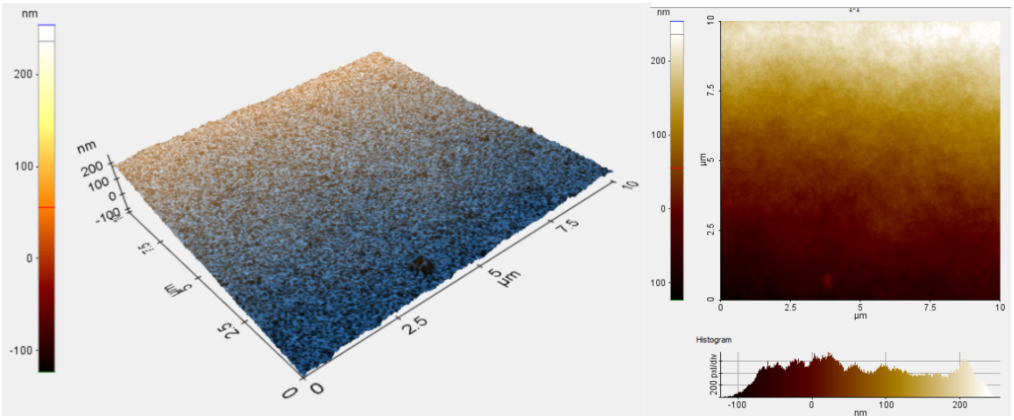
Şekil 7. *Sırasıyla PSf zarının üç ve iki boyutlu AFM görüntüleri*



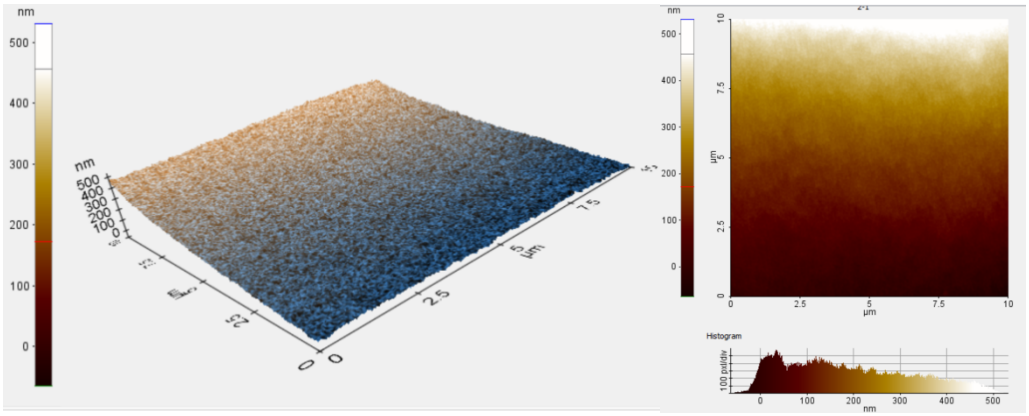
Şekil 8. *%0,2 PSf/Fe_3O_4 nanokompozit membranın sırasıyla üç ve iki boyutlu AFM görüntüleri*



Şekil 9. *%0,5 PSf/Fe_3O_4 nanokompozit membranın sırasıyla üç ve iki boyutlu AFM görüntüleri*



Şekil 10. *%1 PSf/Fe_3O_4 nanokompozit membranın sırasıyla üç ve iki boyutlu AFM görüntüleri*



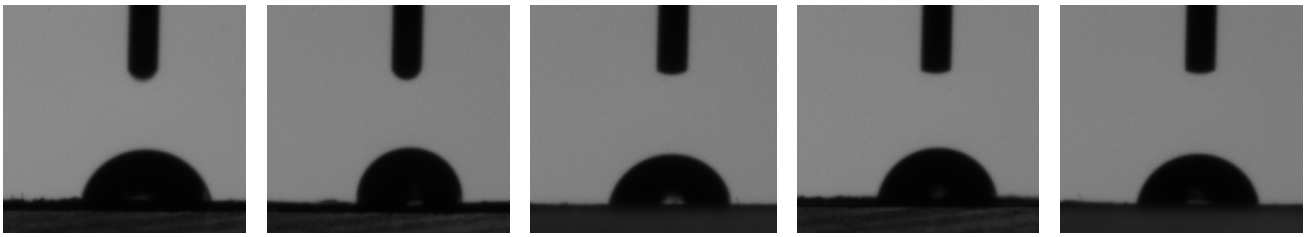
Şekil 11. *%2 PSf/Fe_3O_4 nanokompozit membranın sırasıyla üç ve iki boyutlu AFM görüntüleri*

Tablo 1. *PSf kompozit membranların pürüzlülük değerleri*

Membrane	**Roughness value (Ra), nm**	**Literature**
PSf	5,07	Bu çalışma
PSf-Fe_3O_4 (%0,2)	18,56	Bu çalışma
PSf-Fe_3O_4 (%0,5)	21,52	Bu çalışma
PSf-Fe_3O_4 (%1)	10,95	Bu çalışma
PSf-Fe_3O_4 (%2)	5,09	Bu çalışma
PSf /ZnO (%1)	47,86	Moradihamedani ve ark. (2014)
PSf/TiO_2	92,83	Hamid ve ark. (2011)
PSf/GO-SiO_2	4,0	Wu ve ark. (2014)
PSf-rGO	69,37	Akın ve ark. (2014)
PSf	3,28	Akın ve ark. (2014)
PSf /ZnO	16,19	Akın ve ark. (2015)
PSf /m-ZnO	4,34	Akın ve ark. (2015)

Hazırlanan PSf bazlı kompozit membran yüzeylerinin hidrofilikliğini araştırmak için membranların yüzey temas açısı ölçümleri yapılmıştır [51]. Şekil 12'de görüldüğü gibi temas açısı görüntüleri verilmiştir. Membran yüzeylerinin temas açısı ölçümleri farklı noktalardan 3 tekrar ile gerçekleştirilip ortalama değerleri Tablo 2'de verilmiştir. PSf-GO/Fe_3O_4 nanokompozit membran miktarı arttıkça hidrofilik yapısından dolayı temas açısında azalma gözlenmiştir. Temas açısı değerinin düşük olması ise membrana eklenen malzemenin hidrofilik karakterde olmasından kaynaklanmaktadır. Hazırlanan kompozit membranlar arasında %2 Psf-GO/Fe_3O_4 membran hidrofilik karakteri en yüksek olan membrandır. Bu sayede su geçirgenliğinin çok yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca membrane hazırlarken kullanılan polimer çözeltisine katkılanan hidrofilik malzemeler ile hazırlanan membranların gözenekliliği artmakta, bu sayede su geçirgenliği artmakta ve gözenek boyutunda artışa neden olmaktadır. Hidrofilik karaktere sahip malzemelerin membran yapısındaki bu değişikliklerin

çözücü ile malzeme arasındaki yer değiştirme geçişlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir [52,53]. Yani membran yüzeyindeki hidrofilitedeki artış; faz ters çevirme polimerizasyonu sırasında, hidrofilik malzemeler, arayüzün enerjisini azaltmak için membran/su arayüzünde kendiliğinden yer değiştirmektedir [49].



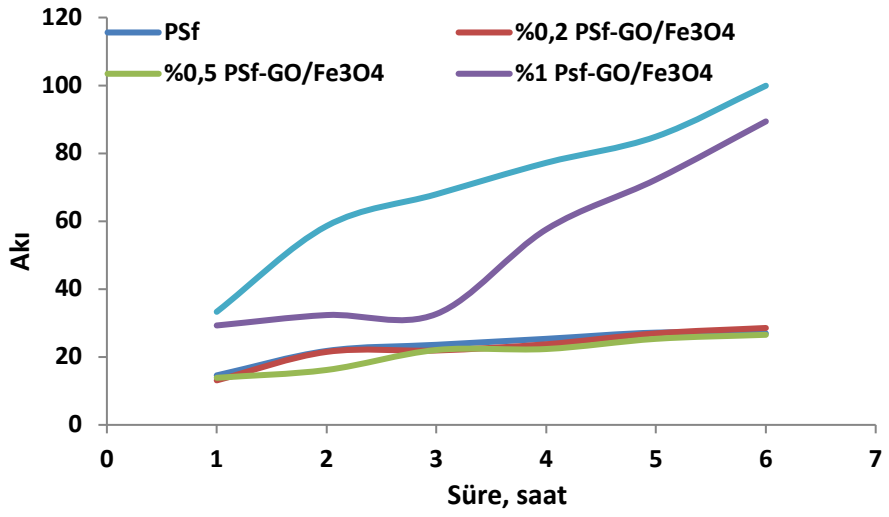
Şekil 12. *Sırasıyla PSf tabanlı nanokompozit membranların temas açısı görüntüleri; Psf membrane ve sırasıyla; %0,2-0,5- 1- 2 Psf-GO/Fe_3O_4.*

Tablo 2. *PSf bazlı kompozit membranların temas açısı ölçümleri*

Kompozit Membran	**Temas Açısı**
PSf	75,8±1°
%0,2 Psf-GO/Fe_3O_4	90,5±2°
%0,5 Psf-GO/Fe_3O_4	81±1°
%1 Psf-GO/Fe_3O_4	77,8±2°
%2 Psf-GO/Fe_3O_4	72,4±1°

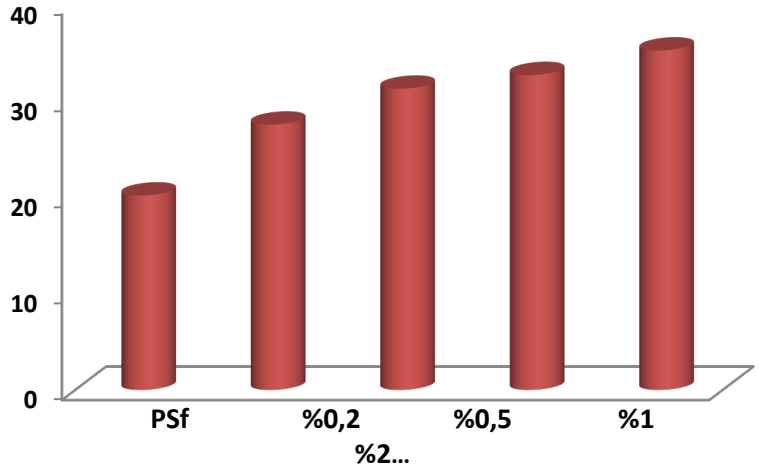
PSf-GO@Fe_3O_4 Nanokompozit Membranların Performans Çalışması

Sentezlenen GO/Fe_3O_4 nanoparçacıkları kullanılarak farklı oranlarda hazırlanan PSf-GO/Fe_3O_4 nanokompozit membranların performanslarını incelemek için akı ve arsenik giderme çalışmaları yapılmıştır. Saf su geçirgenlik deneme sonuçları Şekil 13'te verilmiştir. Polimer matrise eklenen GO/Fe_3O_4 ile membranda su moleküllerinin geçişini kolaylaştıran daha fazla hidrofilik bölgelerin oluştuğu gözlenmiştir. Daha önce de belirttiğimiz gibi, saf su akışındaki bu farkın, polimer matrisine GO/Fe_3O_4 ekleyerek zardaki makro boşlukların yapısını değiştirdiği gözükmektedir. Wu ve ark. (2014) [54], PSf çözeltisine SiO_2-GO ilavesinin zarın hidrofilikliğini iyileştirdiğini, zar ve su molekülleri arasındaki etkileşimi iyileştirdiğini ve buna bağlı olarak saf su akısının artırdığını belirtmişlerdir. Bu durum GO/Fe_3O_4 ilavesi ile de literatür ile uyumlu bulunmuştur. Membranın saf su akışı, GO/Fe_3O_4 ilavesiyle önemli ölçüde arttı. Ayrıca faz inversiyon polimerizasyonu sırasında yüzeyde ve içte makro boşluk oluşumunun GO/Fe_3O_4 ilavesiyle arttığı gözlendi. Artan bu makro boşluklar, saf su akışında gözlenen artıştan da sorumludur.



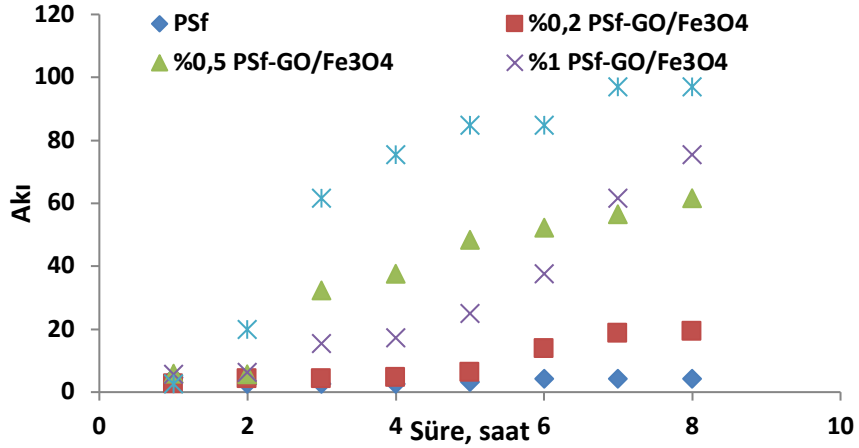
Şekil 13. *Farklı oranlarda PSf ve PSf-GO/Fe_3O_4 nanokompozit membranların saf su akışına zamanın etkisi*

Hazırlanan PSf ve PSf-GO/Fe_3O_4 nanokompozit membranların farklı oranlarda gözeneklilik oranlarına sahiptir. GO/'nin hidrofilik etkisi Fe_3O_4 nanoparçacıkları, faz ters çevirme polimerizasyonu sırasında solvent ve solvent olmayan değişimini arttırır. Bunun sonucunda membran yüzeyinde daha fazla gözenekliliğe neden olurken su akısını da arttırır. GO bazlı malzemelerin modifikasyonu sonucu yapıdaki hidrofilik grup artışı gözenekliliğin artmasına neden olmaktadır. Yapılan bir başka çalışmada PES membran yapısına katkılanan TiO_2 kaplı çok duvarlı karbon nanotüp sayesinde de benzer sonuçlar gözlemlemiş ve ayrıca hidrofilik grupların fazlalığının poroziteyi farklı oranlarda arttırdığı tespit edilmiştir [47, 55]. Farklı oranlarda hazırlanan PSf ve PSf-GO/Fe_3O_4 nanokompozit membranların gözeneklilik oranları Şekil 14'te verilmiştir.

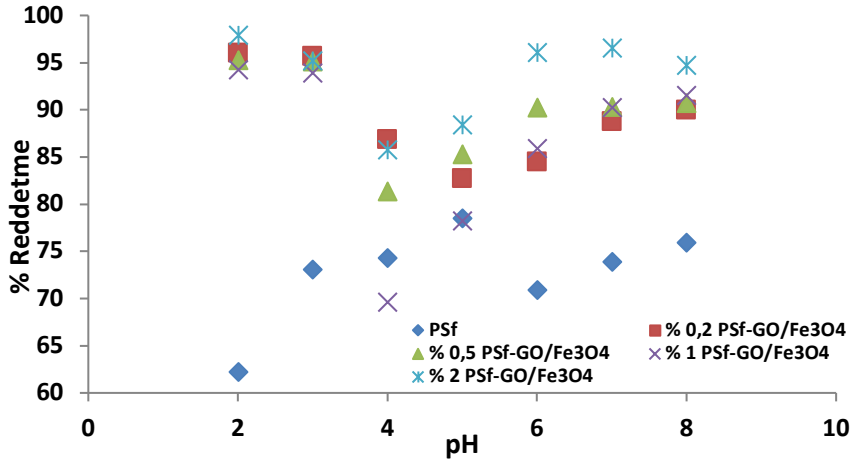


Şekil 14. *Farklı oranlarda PSf ve PSf-GO/Fe_3O_4 nanokompozit membranların gözenekliliği*

Hazırlanan PSf-GO/'nun geçirgenlik çalışmalarına önemli bir parametre olan pH'ın etkisini incelemek için stok çözeltisinin pH'sı HCl ve NaOH ile 2-9 aralığına ayarlanarak deneyler yapılmıştır. Farklı oranlarda Fe_3O_4 nanokompozit membranlar. Daha sonra her pH testi için hem filtrattan hem de yemden 1'er saat arayla 5'er mL numune alındı. Basınç 10 bar, stok çözelti konsantrasyonu 100 ppb(µg/L)'dir. Şekil 15-16'da elde edilen sonuçlar verilmiştir ve akı, artan GO/Fe_3O_4 nanopartikül miktarı ile doğru orantılı olarak artmıştır. SEM yüzey ve kesit görüntülerinde görüldüğü gibi eklenen nanopartikül miktarı arttıkça membran yapısında oluşan makro boşluklar (mesh yapı) artmış, zamanla doğru orantılı olarak akış hızında artış gözlenmiştir. Arsenik reddi oranı tüm membranlarda pH:4 civarında azalmıştır. Bunun nedeni arsenatın form değiştirmiş olması ve GO/Fe_3O_4 ile arsenatın etkileşiminin azalmasıdır. GO/Fe_3O_4 miktarı arttıkça reddetme oranı da arttı. Elde edilen kompozit membranlarda ortalama %95 oranında arsenik reddi gözlenmiştir.



Şekil 15. *Farklı oranlarda PSf ve PSf-GO/Fe_3O_4 nanokompozit membranların arsenik giderimindeki akı değişimi (pH: 2-9, As konsantrasyonu: 100 ppb, Basınç: 10 bar sbt.)*



Şekil 16. *Farklı oranlarda PSf ve PSf-GO/Fe_3O_4 nanokompozit membranların % reddetme miktarı (pH: 2-8, As konsantrasyonu: 100 ppb, Basınç: 10 bar sbt.)*

TARTIŞMA VE SONUÇLAR (DISCUSSION AND CONCLUSIONS)

Farklı oranlarda Fe_3O_4 nanoparçacıkları ile modifiye edilmiş grafen oksit (GO) katkılı polisülfon kompozit membran hollytex3329 destek maddesi üzerine kaplanması ile yüksek geçirgenlik ve reddetme oranına sahip nanomalzeme destekli membranlar geliştirilmiştir. Hazırlanan kompozit membranlar SEM, AFM ve temas açısı teknikleri kullanılarak başarılı bir şekilde karakterize edilmiştir. AFM ile 2D ve 3D görüntülemeyle yüzey topolojisi alınmış ve membran yüzey pürüzlüğünde artış izlenmiştir. Ancak %1 ve %2 GO/Fe_3O_4 içeren nanokompozit membranlarda yüzey pürüzlülüğü azalma tespit edilmiştir. Yapıdaki GO/Fe_3O_4'ün hidrofilik karakterinden dolayı faz ters çevirme polimerizasyonu sırasında solvent molekülleri ile çözücü dışındaki yapılar arasındaki sürekli yer değiştirmeden dolayı olduğu düşünülmektedir. Tablo 1.' de görüleceği üzere polimer matristeki hidrofilik karakter arttıkça yüzey pürüzlülüğü azalmakta, aglomerasyon hızı azalmakta ve daha homojen yüzeyler elde edildiğinde SEM görüntülerinde görülmektedir. Yüzey temas açısı ölçümleri değerlendirildiğinde yapıdaki malzeme oranı arttıkça membranların hidrofilik karakteri de dolayısıyla saf su akı değerlerininde arttığı görülmüştür. Hazırlanan PSf ve PSf-GO/Fe_3O_4 nanokompozit membranların gözeneklilik oranlarında artan bir değişim gözlenmektedir. GO/'nin hidrofilik etkisi Fe_3O_4 nanoparçacıkları, faz ters çevirme polimerizasyonu sırasında solvent ve solvent olmayan değişimini arttırır. Bunun sonucunda membran yüzeyinde daha fazla gözenekliliğe neden olurken su akısını da artış gözlemlenmiştir. Membran performans çalışmaları saf su geçirgenliği ve arsenik giderimi çalışmaları ile gerçekleştirilmiş ve hazırlanan membranlarda yüksek performans gözlemlenmiş ve %95 arsenik giderimi oranına ulaşılmıştır ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından belirlenen 10 µg/L sınır değerinin altına düştüğü gözlenmiştir. Literatürde GO ve Fe_3O_4 nanopartiküllerinin arsenik üzerindeki etkileri aşikar olmakla birlikte elde edilen kompozit membranlar kolay uygulanabilirliği, tekrarlanabilirliği, yüksek arsenik giderim oranına sahip olması gibi avantajları sayesinde literatüre yeni bir membran olarak katkı sağlayacağı ve su arıtımında kullanılan sistemlere kolaylıkla uygulanabileceği görülmüştür.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENTS)

Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (Proje No:141710001) ve Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (Proje No: 16401085) Koordinatörlüklerine kısmi finansal desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA (REFERENCES)

[1] N. Yaşa, N. Koçak, N., Asit - Baz Konusunda Karşılaşılan Kavram Yanılgıları: Bir İçerik Analizi, *Ahmet Keleşoğlu Eğitim Fakültesi Dergisi (AKEF) Dergisi*. 4(1) (2022), 1-23. doi:10.38151/akef.2021.1

[2] S. Akçay, H. Şengül, H., A Study on Environmental Literacy of Middle School Students. *Ahmet Keleşoğlu Eğitim Fakültesi Dergisi (AKEF) Dergisi.* 5(1) (2023), 139-169 doi:10.38151/akef.2023.48

[3] A. Bhatnagar, M. Sillanpää, A review of emerging adsorbents for nitrate removal from water, *Chemical Engineering Journal.* 168 (2011), 493–504. doi:10.1016/j.cej.2011.01.103

[4] C.K. Jain, I. Ali, Arsenic: occurrence, toxicity and speciation techniques, *Water Research*. 34 (2000), 4304–4312. doi:10.1016/s0043-1354(00)00182-2

[5] M.F. Hossain, Arsenic contamination in Bangladesh – an overview, *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 113 (2016), 1–16. doi:10.1016/j.agee.2005.08.034

[6] M.C. Shih, An overview of arsenic removal by pressuredrivenmembrane processes. *Desalination.* 172(1) (2005), 85-97. doi:10.2478/acs-2018-0016

[7] D. Mohan, Jr. C.U. Pittman, Functionalized graphene sheets for arsenic removal and desalination of sea water, *Journal of Hazardous Materials*. 142 (2007), 1-53. doi:10.1016/j.desal.2011.01.038

[8] P.L. Smedley, D.G. Kinniburgh, A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters, *Applied Geochemistry*. 17(5) (2002), 517-68. doi:10.1016/s0883-2927(02)00018-5

[9] H. Saitua, R. Gil, A.P. Padilla, Experimental investigation on arsenic removal with a nanofiltration pilot plant from naturally contaminated groundwater, *Desalination.* 274 (2011), 1–6. doi:10.1016/j.desal.2011.02.044

[10] S. Addo Ntim, S. Mitra, Adsorption of arsenic on multiwall carbon nanotube– zirconia nanohybrid for potential drinking water purification, *Journal of Colloid and Interface Science*. 375 (2012), 154–9. doi:10.1016/j.jcis.2012.01.063

[11] R. Ebrahimi, A. Maleki, B. Shahmoradi, H. Daraei, A.H. Mahvi, A.H. Barati, Elimination of arsenic contamination from water using chemically modified wheat straw, *Desalination and Water Treatment.* 51(2013), 2306–16. doi:10.1080/19443994.2012.734675

[12] T.S. Singh, K.K. Pant, Equilibrium, kinetics and thermodynamic studies for adsorption of As(III) on activated alumina, *Separation and Purification Technology.* 36 (2) (2004), 139–147. doi: 10.1016/s1383-5866(03)00209-0

[13] V.K. Gupta, V.K. Saini, N. Jain, Adsorption of As(III) from aqueous solutions by iron oxide-coated sand, *Journal of Colloid and Interface Science*. 288 (1) (2005), 55–60. doi: 10.1016/j.jcis.2005.02.054

[14] K. Vaaramaa, J. Lehto, Removal of metals and anions from drinking water by ion exchange, *Desalination* 155 (2) (2003), 157–170. doi: 10.1016/s0011-9164(03)00293-5

[15] W. Zhang, P. Singh, E. Paling, S. Delides, Arsenic removal from contaminated water by natural iron ores, *Minerals Engineeering.* 17 (2004), 517–524. doi: 10.1016/j.mineng.2003.11.020

[16] J. Pattanayak, K. Mondal, S. Mathew, S.B. Lalvani, A parametric evaluation of the removal of As(V) and As(III) by carbon-based adsorbents, *Carbon.* 38 (2000), 589–596. doi:10.1016/s0008-6223(99)00144-x

[17] B. Daus, B. Wennrich, H. Weiss, Sorption materials for arsenic removal from water: a comparative study, *Water Research.* 38 (2004), 2948–2954. doi: 10.1016/j.watres.2004.04.003

[18] M.P. Elizalde-Gonzalez, J. Mattusch, W.D. Einicke, R, Wennrich, Sorption on natural solids for arsenic removal, *Chemical Engineering Journal.* 81 (2001), 187–195. doi: 10.1016/s1385-8947(00)00201-1

[19] K.N. Ghimire, K. Inoue, H. Yamaguchi, K. Makino, T. Miyajima, Adsorptive separation of arsenate and arsenite anions from aqueous medium by using orange waste, *Water Research*. 37(2004), 4945–4953. doi: 10.1016/j.watres.2003.08.029

[20] M.X. Loukidou, K.A. Matis, A.I. Zouboulis, M. Liakopoulou-Kyriakidou, Removal of As(V) from wastewaters by chemically modified fungal biomass, *Water Research.* 37 (2003), 4544–4552. doi: 10.1016/s0043-1354(03)00415-9

[21] A.K. Mishra, S. Ramaprabhu, Graphene oxide/ferric hydroxide composites for efficient arsenate removal

from drinking water, *Desalination.* 282 (2011), 39-45. doi:10.1016/j.jhazmat.2010.06.010

[22] H.Y. Koo, H.J. Lee, H.A. Go, Y.B. Lee, T.S. Bae, J.K. Kim, W.S. Choi, Graphene-based multifunctional iron oxide nanosheets with tunable properties, *Chemistry Europe Journal.* 17 (2011), 1214-1219. doi: 10.1002/chem.201002252

[23] L. Li, G. Zhou, Z. Weng, X.Y. Shan, F. Li, H.M. Cheng, Monolithic Fe_2O_3/graphene hybrid for highly efficient lithium storage and arsenic removal, *Carbon.* 67 (2014), 500-507. doi:10.1016/j.carbon.2013.10.022

[24] K. Zhang, V. Dwivedi, C. Chi, J. Wu, Graphene oxide/ferric hydroxide composites for efficient arsenate removal from drinking water, *Journal of Hazardous Materials.* 182 (2010), 162-168. doi: 10.1016/j.jhazmat.2010.06.010

[25] G. Sheng, Y. Li, X. Yang, X. Ren, S. Yang, J. Hu, X. Wang, Efficient removal of arsenate by versatile magnetic graphene oxide composites, *RSC Advanced.* 2 (2014), 12400-12407. doi:10.1039/c2ra21623j

[26] Y. Gu, D. Yu, Y. Zhou, Z. Guo, X. Liang, Facile synthesis of UiO-66/PAN adsorptive membrane for effective arsenic removal, *Materials Today Sustainability.*(2023), 100354. doi:10.1016/j.mtsust.2023.100354

[27] V. Chandra, J. Park, Y. Chun, J.W. Lee, I.C. Hwang, K.S. Kim, Water dispersible magnetite-reduced graphene oxide composites for arsenic removal, *ACS Nano.* 4 (2010), 3979-3986. doi:10.1021/nn1008897

[28] X. Luo, C. Wang, S. Luo, R. Dong, X. Tu, G. Zeng, Adsorption of As(III) and As(V) from water using magnetite Fe_3O_4-reduced graphite oxide-MnO_2 nanocomposites, *Chemical Engineering Journal.* 187 (2012), 45-52. doi:10.1016/j.cej.2012.01.073

[29] M.C. Shih, An overview of arsenic removal by pressure-driven membrane processes, *Desalination.* 172 (2005), 85–97 https://doi.org/10.1016/j.desal.2004.07.031

[30] W. Duan, A. Dudchenko, E. Mende, C. Flyer, X. Zhu, D. Jassby, Electrochemical Mineral Scale Prevention and Removal on Electrically Conducting Carbon Nanotube-Polyamide Reverse Osmosis Membranes. *Environ. Sci.: Processes Impacts.* 16 (2014),1300-1308. doi: 10.1039/c3em00635b.

[31] J.G. Gai, X.L. Gong, W.W. Wang, X. Zhang, W.L. Kang, An Ultrafast Water Transport Forward Osmosis Membrane: Porous Graphene, *Journal of Materials Chemistry A.* 2(2014), 4023−4028. doi:10.1039/c3ta14256f

[32] J.R. Ellerie, O.G. Apul, T. Karanfil, D.A. Ladner, Comparing Graphene, Carbon Nanotubes, and Superfine Powdered Activated Carbon as Adsorptive Coating Materials for Microfiltration Membranes, *Journal of Hazardous Materials.* 261 (2013), 91−98. doi:10.1016/j.jhazmat.2013.07.009

[33] R. Das, M.E. Ali, S.B.A. Hamid, S. Ramakrishna, Z.A. Chowdhury, Carbon Nanotube Membranes for Water Purification: A Bright Future in Water Desalination, *Desalination*. 336 (2014), 97−109. doi:10.1016/j.desal.2013.12.026

[34] S. Zinadini, A.A. Zinatizadeh, M. Rahimi, V. Vatanpour, H. Zangeneh, Preparation of A Novel Antifouling Mixed Matrix PES Membrane by Embedding Graphene Oxide Nanoplates, *Journal of Membrane Science.* 453 (2014), 292−301. doi:10.1016/j.memsci.2013.10.070

[35] F. Jin, W. Lv, C. Zhang, Z. Li, R. Su, W. Qi, Q.H. Yang, Z. He, High-Performance Ultrafiltration Membranes Based on Polyethersulfone−Graphene Oxide Composites, RSC Advanced. 3 (2013), 21394−21397. doi:10.1039/c3ra42908c

[36] K. Sint, B. Wang, P. Kral, Selective Ion Pass Age Through Functionalized Graphene Nanopores, *Journal of the American Chemical Society.* 130 (2008), 16448−16449. doi:10.1021/ja804409f

[37] Y. Han, Z. Xu, C. Gao, Ultra Thin Graphene Nano Filtration Membrane for Water Purification. *Advanced Functional Materials.* 23 (2013), 3693− 3700. doi:10.1002/adfm.201202601

[38] P. Sun, M. Zhu, K. Wang, M. Zhong, J. Wei, D. Wu, Z. Xu, H. Zhu, Selective Ion Penetration of Graphene Oxide Membranes, *ACS Nano.* 7 (2013), 428−437. doi:10.1021/nn304471w

[39] Y. Heo, H. Im, J. Kim, The Effect of Sulfonated Graphene Oxide on Sulfonated Poly (Etheretherketone) Membrane for Direct Methanol Fuel Cells, Journal of Membrane Science. 425(426) (2013), 11−22. doi:10.1023/A:1026336524991

[40] Y. Zhao, Z. Xu, M. Shan, C. Min, B. Zhou, Y. Li, B. Li, L. Liu, X. Qian, Effect of Graphite Oxide and Multi-Walled Carbon Nano Tubes on the Micro Structure and Performance of PVDF Membranes, *Separation and Purification Technology.* 103 (2013), 78−83. doi:10.1016/j.seppur.2012.10.012

[41] I. Akin, M. Ersoz, Preparation and characterization of CTA/m-ZnO composite membrane for transport of Rhodamine B. *Desalination and Water Treatment*. 57(7) (2016), 3037-3047. doi:10.1080/19443994.2014.980327

[42] S.T. Hwang, K. Kammermeyer, Membranes in Separations, Techniques of Chemistry; Wiley-Interscience: New York (1975).

[43] D.C. Marcano, D.V. Kosynkin, J.M. Berlin, A. Sinitskii, Z. Sun, A. Slesarev, L.B. Alemany, W. Lu, J.M. Tour, Improved Synthesis of Graphene Oxide, *ACS Nano.* 4 (2010), 4806−4814. doi:10.1021/nn1006368

[44] P. Liu, W. Zhong, X. Wu, J. Qiu, Facile synergetic dispersion approach for magnetic Fe_3O_4@graphene oxide/polystyrene tri-component nanocomposite via radical bulk polymerization, *Chemical Engineering Journal.* 219 (2013), 10–18. doi:10.1016/j.cej.2012.12.062

[45] X.Y. Yang, X.Y. Zhang, Y.F. Ma, Y. Huang, Y.S. Wang, Y.S., Chen, Superparamagnetic grapheme oxide-Fe_3O_4 nanoparticles hybrid for controlled targeted drug carriers, *Journal of Materials Chemistry.* 19 (2009), 2710–2714. DOI:10.1039/B821416F

[46] G. Arslan, A. Tor, H. Muslu, M. Ozmen, I. Akin, Y. Cengeloglu, M. Ersoz, Facilitated Transport of Cr(VI) Through a Novel Activated Composite Membrane Containing Cyanex 923 as a Carrier, *Journal of Membrane Science.* 337 (2009), 224−231. doi:10.1016/j.memsci.2009.03.049

[47] V. Vatanpour, S.S. Madaeni, R. Moradian, S. Zinadini, B. Astinchap, Novel Antibifouling Nanofiltration Polyethersulfone Membrane Fabricated from Embedding TiO_2 Coated Multi Walled Carbon Nanotubes, *Separation and Purification Technology.* 90 (2012), 69-82. doi:10.1016/j.seppur.2012.02.014

[48] N.A.A. Hamid, A.F. Ismail, T. Matsuura, A.W. Zularisam, W.J. Lau, E. Yuliwati, M.S. Abdullah, Morphological and Separation Performance Study of Polysulfone/Titanium Dioxide (PSF/TiO_2) Ultrafiltration Membranes for Humic Acid Removal, *Desalination*. 273 (2011), 85-92. doi:10.1016/j.desal.2010.12.052

[49] I. Akin, E. Zor, H. Bingol, M. Ersoz, Green synthesis of reduced graphene oxide/polyaniline composite and its application for salt rejection by polysulfone-based composite membranes, *Journal of Physical Chemistry B.* 118 (21) (2014), 5707–5716. doi:10.1021/jp5025894

[50] A. Sarıalioğlu Güngör, M.E. Örcün, N. Dönmez, Farklı beyazlatıcı diş macunlarının minenin renk değişimi ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin in vitro olarak değerlendirilmesi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Diş Hekimliği Dergisi.* 5 (2023), 25-34. doi:10.51122/neudentj.2023.55

[51] C.M. Wu, T.W. Xu, W.H. Yang, Fundamental Studies of a New Hybrid (Inorganic−Organic) Positively Charged Membrane: Membrane Preparation and Characterizations, *Journal of Membarne Science.* 216 (2003), 269−278. doi:10.1016/s0376-7388(03)00082-6

[52] E. Celik, L. Liu, H. Choi, Protein Fouling Behavior of Carbon Nanotube/Polyethersulfone Composite Membranes During Water Filtration, *Water Research,* 45 (2011), 5287−5294. doi:10.1016/j.watres.2011.07.036

[53] R. Wu, Y. Tan, Y. Meng, Y. Zhang, Y.X. Huang, PVDF/MAF-4 composite membrane for high flux and scaling-resistant membrane distillation, *Desalination*, 540 (2022), 116013. doi:10.1016/j.desal.2022.116013

[54] H. Wu, B. Tang, P. Wu, Development of Novel SiO_2−GO Nanohybrid/Polysulfone Membrane with Enhanced Performance. *Journal of Membrane Science.* 451 (2014), 94−102. doi:10.1016/j.memsci.2013.09.018

[55] N. Kong, C. Chen, Q. Zeng, B. Li, L. Shen, H. Lin, Enriching Fe_3O_4@MoS_2 composites in surface layer to fabricate polyethersulfone (PES) composite membrane: The improved performance and mechanisms, *Separation and Purification Technology*. 302(1) (2022), 122178. doi:10.1016/j.seppur.2022.122178

Necmettin Erbakan Üniversitesi
Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi
Journal of Science and Engineering (NEJSE)
DOI: 10.47112/neufmbd.2023.9

Cilt: 5 Sayı:2 Yıl: 2023 | Araştırma Makelesi / Research Article | E-ISSN: 2667- 7989

Kaynaklı Bağlantıya Sahip Karmaşık Bir Yapıda Goldak Modeli Kullanılarak Distorsiyonların ve Kalıntı Gerilmelerin Nümerik Analizler ile Belirlenmesi

Barış GÖKÇE [1] **Osman Bahadır ÖZDEN** [2]

[1] Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, bgokce@erbakan.edu.tr *(Sorumlu Yazar/ Corresponding Author)*

[2] MPG Makine Prodüksiyon Grubu Makine İmalat Sanayi ve Ticaret A.Ş., Konya, Türkiye, bozden@mpg.com.tr

Makale Bilgileri

Makale Geçmişi
Geliş: 19.06.2023
Kabul: 25.07.2023
Yayın: 31.12.2023

Anahtar Kelimeler:
Kaynaklı Bağlantılar,
Termal Analiz,
Isı Etkisi,
Distorsiyon.

ÖZ

Bu çalışma, sonlu elemanlar analizlerinde (SEA) kullanılan termal analiz ve yapısal analiz yöntemlerinin birleşik kullanımı ve Goldak modeli ile distorsiyonun ve kalıntı gerilmenin tespit edilmesini ele almaktadır. Distorsiyon, bir malzemenin ısı uygulaması veya mekanik yük altında deformasyon veya bükülme şeklindeki değişimini ifade eder. Distorsiyonun kontrol edilmesi, özellikle hassas parçaların üretimi ve montajı süreçlerinde birçok uygulamada büyük önem taşımaktadır. Kalıntı gerilmelerde yapının özellikle yorulma ömrünü azaltmakta olup yapısal olarak emniyetini etkilemektedir. Bu çalışmanın başlangıcında, karmaşık bir yapıda dört farklı kaynak yolu için termal analizler gerçekleştirilmiştir. SEA yazılımı olarak Ansys yazılımı kullanılmış olup Goldak çift elipsoit modeli Ansys programlama tasarım dili (APDL) ile tanımlanmıştır. Analizden elde edilen veriler, malzemenin ısınma ve soğuma davranışını anlamak için kullanılmıştır. Ardından, termal analiz sonuçları yapısal analiz ile birleştirilerek distorsiyonun nedenlerini ve etkileri ile birlikte kalıntı gerilmenin tespiti için bir değerlendirme yapılmıştır. Yapısal analiz sonrasında, yapı üzerinde ısıdan dolayı oluşan yüklerin neden olduğu gerilmeler ve deformasyonlar incelenmiştir. Çalışma sonucunda, mobil bir vince ait karmaşık bir yapıda kalıntı gerilme 243.56 MPa, kaynak tamamlandıktan sonra oluşan distorsiyon ise X yönünde 0.56mm, Y ekseninde 0.83 mm ve Z ekseninde 0.37 mm tespit edilmiştir. Bu bulgular ve yaklaşımlar ile hassas parçaların üretimi ve montajı süreçlerinde distorsiyonun önlenmesi veya minimize edilmesi için yaklaşımlar sunulmuştur.

Determination of Distortions by Finite Element Analysis Using the Goldak Model in a Welded Joint Structure

Article Info

Article History
Received: 19.06.2023
Accepted: 25.07.2023
Published: 31.12.2023

Keywords:
Welded Joints,
Thermal Analysis,
Heat Effect,
Distortion.

ABSTRACT

This study deals with the combined use of thermal analysis and structural analysis methods used in finite element analysis (FEA) and the determination of distortion and residual stress with the Goldak model. Distortion refers to the change in the way a material deforms or bends under the application of heat or mechanical load. Controlling distortion is of great importance in many applications, especially in the manufacturing and assembly of sensitive parts. Residual stresses reduce the fatigue life of the structure and affect its structural safety. At the beginning of this study, thermal analyzes were performed for four different welding paths in a complex structure. Ansys software was used as SEA software and Goldak double ellipsoid model was defined with Ansys programming design language (APDL). The data from the analysis are used to understand the heating and cooling behavior of the material. Then, thermal analysis results were combined with structural analysis and an evaluation was made to determine the causes and effects of distortion as well as residual stress. After the structural analysis, the stresses and deformations caused by the loads on the structure due to the heat were investigated. As a result of the study, the residual stress in a complex structure of a mobile crane was found to be 243.56 MPa, and the distortion after welding was 0.56 mm in the X direction, 0.83 mm in the Y axis and 0.37 mm in the Z axis. With these findings and approaches, approaches are presented to prevent or minimize distortion in the manufacturing and assembly processes of sensitive parts.

Atıf/Citation: Gökçe, B. & Özden, O.B. (2023). 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), 53-64. https://doi.org/10.47112/neufmbd.2023.9

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

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yapısal analizler, yapı tasarımlarında önemli bir rol oynamaktadır [1]. Özellikle hassas parçaların üretim ve montaj süreçlerinde, malzemenin davranışının doğru bir şekilde analiz edilmesi ve kontrol edilmesi büyük önem taşır. Bu bağlamda, termal analiz ve yapısal analiz yöntemleri, malzeme davranışının anlaşılması ve ürün performansının iyileştirilmesinde kritik bir rol oynamaktadır.

Distorsiyon, malzemenin ısı uygulaması altında deformasyon veya bükülme şeklindeki değişimini ifade eder [2]. Distorsiyon, malzeme kalitesini etkileyebilir, ürün performansını azaltabilir ve tamamen işlevsiz hale getirebilir. Bu nedenle, distorsiyonun nedenleri, etkileri ve kontrol yöntemleri üzerine yapılan araştırmalar, malzeme mühendisleri ve tasarımcılar için önemli bir konudur. Kaynaklı bağlantılarda distorsiyonun boyuna, enine ve açısal çarpılma gibi etkileri bulunmaktadır [3]. Distorsiyonun kontrol edilmesi, birçok endüstriyel uygulama için kritik bir zorluktur. Özellikle hassas parçaların üretimi, montaj süreçleri ve yapısal bileşenlerin kullanımı gibi alanlarda distorsiyonun kontrol altına alınması gerekmektedir.

Sonlu elemanlar analizlerinde (SEA) termal analiz yöntemleri, distorsiyonun belirlenmesi ve kontrol edilmesinde kullanılan etkili araçlardır [4-7]. Termal ve yapısal analiz, malzemenin ısınma ve soğuma davranışını anlamak için kullanılırken, yapısal analiz, sıcaklık etkisiyle yapıda oluşan gerilmeleri ve deformasyonları inceler [8, 9]. Bu iki analiz yöntemi birleştirildiğinde, malzemenin termal ve mekanik etkiler altında nasıl distorsiyona uğradığı daha iyi anlaşılabilir [10]. Bunlar, malzeme seçimi, tasarım optimizasyonu ve üretim süreçlerinin geliştirilmesi için öneme sahip olmaktadır. Ancak, termal analiz yalnızca sıcaklık değerlerini ortaya koyabilmekte ve mekanik yüklerin etkisini dikkate almamaktadır. SEA aşamasında, malzeme üzerine uygulanan mekanik yüklerin veya ısıların neden olduğu gerilmeler ve deformasyonlar incelenebilmektedir [11]. Bu analiz, malzemenin dayanıklılığını, elastik ve plastik davranışını, gerilme-kırılma ilişkilerini ve deformasyon miktarlarını belirlemek için yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, malzemenin mekanik özelliklerinin performansının distorsiyon üzerindeki etkisinin anlaşılmasına yardımcı olmaktadır. Termal genleşme katsayısı düşük, termal stabilitesi yüksek ve mekanik dayanıklılığı optimal olan malzemeler, distorsiyonun minimize edilmesine yardımcı olabilir. Aynı zamanda, tasarım optimizasyonu sürecinde distorsiyon etkilerinin dikkate alınması ve uygun tasarım değişikliklerinin yapılması gerekmektedir. Üretim süreçlerinde ise sıcaklık kontrolü, soğutma yöntemleri ve malzeme işleme tekniklerinin dikkatlice yönetilmesi önemlidir. Optimal sıcaklık profillerinin belirlenmesi, malzeme şekillendirme işlemlerindeki termal etkilerin minimize edilmesine yardımcı olabilir. Ayrıca, kalıp tasarımı, ısı dağılımı ve soğutma sistemleri gibi faktörlerin gözden geçirilmesi de distorsiyon kontrolünde etkili olabilir.

Goldak modeli, ısı transferi ve termal davranışın simülasyonunda yaygın olarak kullanılan bir modeldir [12, 13]. Bu model, kaynaklı bağlantılarda malzeme içindeki ısı dağılımını, termal gradyanları ve ısı geçişini hesaplamak için kullanılan bir yaklaşımdır [14, 15]. Goldak modeli, termal analizlerde özellikle kaynak işlemleri sırasında ortaya çıkan ısıl etkileri incelemek ve anlamak için kullanılır [16, 17]. Bu model, kaynak sırasında oluşan ısı kaynakları, ısı yayılımı, malzeme erimesi ve donması gibi termal olayları simüle etmek için kullanılan matematiksel bir yaklaşımdır. SEA analizlerinde de farklı yazılımlar ile kullanılabilmektedir [18, 19]. Ansys yazılımında APDL (Ansys Parametrik Tasarım Dili) kodu ile çift elipsoit geometri tanımlaması yapılarak ısı girdisi analiz edilebilmektedir [20-22]. Goldak modeli, kaynak işlemlerinin optimizasyonu, distorsiyon kontrolü ve kaynak hatasının azaltılması gibi konularda mühendisler ve araştırmacılar için değerli bir araçtır. Bu model, malzeme seçimi, tasarım optimizasyonu ve üretim süreçlerinin geliştirilmesi gibi alanlarda katkılar sağlamaktadır.

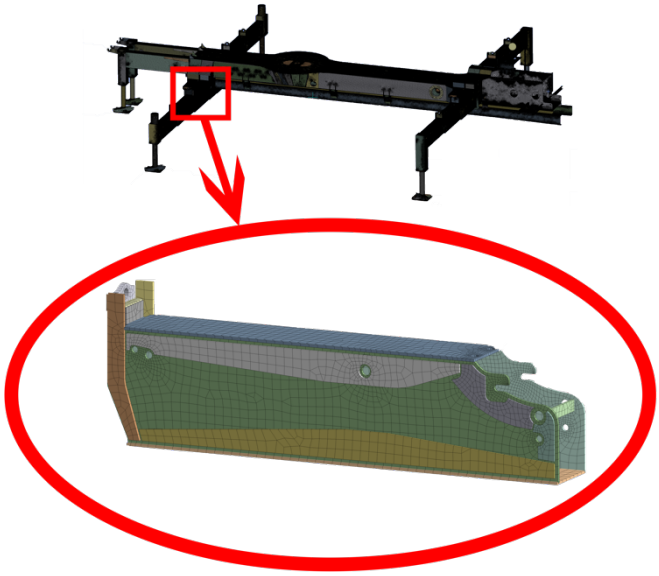
Bu çalışmada, termal analiz ve yapısal analiz yöntemlerinin birleşik kullanımı sayesinde distorsiyonun nedenleri ve etkileri daha kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, SEA yazılımı olan Ansys ile APDL kodu kullanılarak gerçekleştirilen Goldak modeli ile termal analizi incelenmiştir. Bu model, malzeme içerisindeki sıcaklık dağılımını, ısı geçişini ve termal gradyanları hesaplamak için kullanılır. Termal etkilerin mekanik yükler üzerindeki etkisini incelemek, distorsiyonun tam anlamını anlamak için önemlidir. Bu birleşik analiz yaklaşımı, malzemenin ısıl genleşmesi, termal gerilmelerin ve mekanik gerilmelerin etkileşimi ve sonuç olarak distorsiyonun mekanizmaları hakkında

daha fazla bilgi sağlamaktadır. Sonuç olarak, distorsiyonun mekanik yükler ve termal etkiler arasındaki etkileşimden kaynaklandığı ve endüstriyel uygulamalarda malzeme seçimi, tasarım optimizasyonu ve üretim süreçlerinin iyileştirilmesiyle kontrol edilebileceği belirlenmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, distorsiyonla mücadelede daha etkili stratejilerin geliştirilmesine ve daha dayanıklı ve güvenilir ürünlerin üretilmesine katkıda bulunabilir. Distorsiyonun azaltılması veya kontrol altına alınması, ürünlerin performansını ve kalitesini artırabilir, maliyetleri düşürebilir ve üretim süreçlerini verimli hale getirebilir. Bu nedenle, endüstriyel uygulamalarda distorsiyonun önlenmesi veya minimize edilmesi için bu çalışmadaki yaklaşımlar önerilmiştir.

MATERYAL VE METOT (MATERIALS AND METHODS)

SEA Modeli ve Tanımlanan Malzeme Özellikleri (SEA Model and Defined Material Properties)

Çalışmada SEA yazılımı olarak Ansys kullanılmıştır. Termal analiz uygulanmış ve ısı etkilerinin sonuçları yapısal analiz girdisi olarak tanımlanmıştır. Analiz geometri modeli ise Şekil 1'de gösterilen mobil bir vincin alt parçalarından olan bir yapıda incelemeler gerçekleşmiştir. Analiz süresini azaltmak ve ağ kalitesini artırmak amacıyla sonucu etkilemeyecek geometrilerde sadeleştirmeler yapılmıştır. Karmaşık bir yapıya sahip olduğu için bu tür sadeleştirmeler özellikle analiz süresini olumlu olarak etkilemektedir.



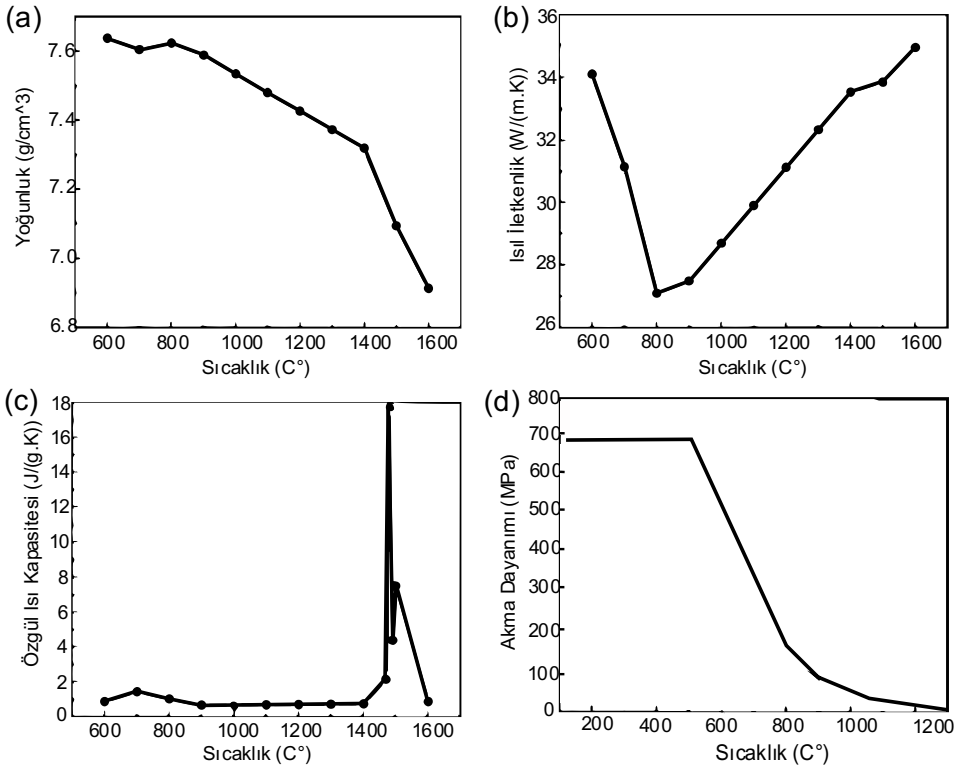
Şekil 1. *İncelenen yapının SEA geometri modeli*

SEA modelinde malzeme mekanik özellikleri akma noktasının üzerinde gerilmeler oluşacağı için doğrusal olmayan özellikler ile tanımlanmıştır. Analizler, Hooke yasasına göre Euler-Bernoulli deformasyon yaklaşımına göre doğrusal olmayan malzeme tanımlamaları ile gerçekleştirilmiştir. Kalıntı gerilme değerleri ise maksimum normal gerilme değerlerine göre incelenmiştir. Distorsiyonu belirlemek için malzemenin plastik bölgedeki tanımlanması gerekmektedir. İncelenen yapıda malzeme seçimi yüksek mukavemetli çelik olan S690QL olup termal analizleri bu malzemenin özelliklerine göre incelenmiştir. Tablo 1'de, SEA için tanımlanan S690QL malzemesinin oda sıcaklığında çekme testi ve araştırmalar ile elde edilen mekanik özellikleri belirtilmektedir.

Tablo 1. *S690QL Oda Sıcaklığı Mekanik Özellikleri*

Özellik	**Birim**	**Değer**
Akma Dayanımı	MPa	710
Çekme Dayanımı	MPa	740
Elastikiyet Modulü	GPa	200
Poisson Oranı		0.3
Yüzden Uzama	%	12
Tanjant Modülü		0.1

S690 malzemesinin analiz modelinde tanımlanan sıcaklığa bağlı termo-mekanik özellikleri Şekil 2'de gösterilmektedir. S690 malzemelerin termo-mekanik özellikleri için literatürde bulunan çalışmalardan alınarak SEA için tanımlanmıştır [23, 24].



Şekil 2. *SEA'da tanımlanan S690 termal özellikleri*

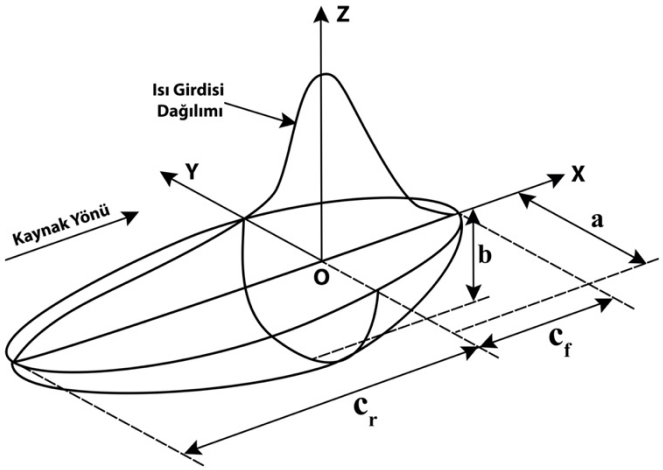
Hazırlanan geometride ve tanımlamalar ile beraber ağ (mesh) modeli oluşturulurken genellikle 8 köşeli (hexagonal) ve ortada düğüm bulunan (quadratic) ağ modeli tercih edilmiştir. Bu ağ tipinde bir elemanda 20 düğüm noktası bulunmaktadır. Daha doğru sonuçlar alındığı için belirtilen ağ tipi modeli tercih edilmiştir. Ağ modeli oluşturulduktan sonra 4964 eleman sayısı ve 7501 düğüm sayısı elde edilmiştir. Ağ kalitesi, çarpıklık (skewness) kriterine göre değerlendirilmiş olup ortalama 0,17 tespit edilmiştir. Bulunan değer çarpıklık kriterine göre kaliteli ağ olarak değerlendirilmektedir.

Termal Analiz Isı Kaynağı için Goldak Modeli (Thermal Analysis Goldak Model for Heat Source)

Goldak modeli, kaynak işlemindeki sıcaklık dağılımını tahmin etmek için kullanılan bir sayısal simülasyon yöntemidir. Model, kaynak işlemi sırasında malzeme üzerine uygulanan ısı enerjisini ve buna bağlı olarak oluşan sıcaklık dağılımını hesaplamak için çift elipsoid şeklini sağlayan formüller ile temsil edilir. Goldak modelinin temelinde, kaynak hızı, elektrik akımı, voltaj gibi giriş parametreleri yer alır. Bu parametreler, kaynak işlemine özgü olarak belirlenir. Bu sayede, kaynak bölgesindeki sıcaklık dağılımının tahmin edilmesi ve kaynak sonuçlarının analiz edilmesi mümkün olur. SEA'da Goldak modeli, fortran dili ile programlanan APDL kodu tanımlanmıştır. Denklem 1 ve 2'de ısı girdisi modeli APDL kodunda kullanılmış termal analiz ısı girdileri bu denklemler ile tanımlanmıştır [25]. APDL kodu EK 1'de belirtilmektedir. Bu denklemlerin oluşturduğu çift elipsoid Goldak modeli Şekil 3'te gösterilmektedir.

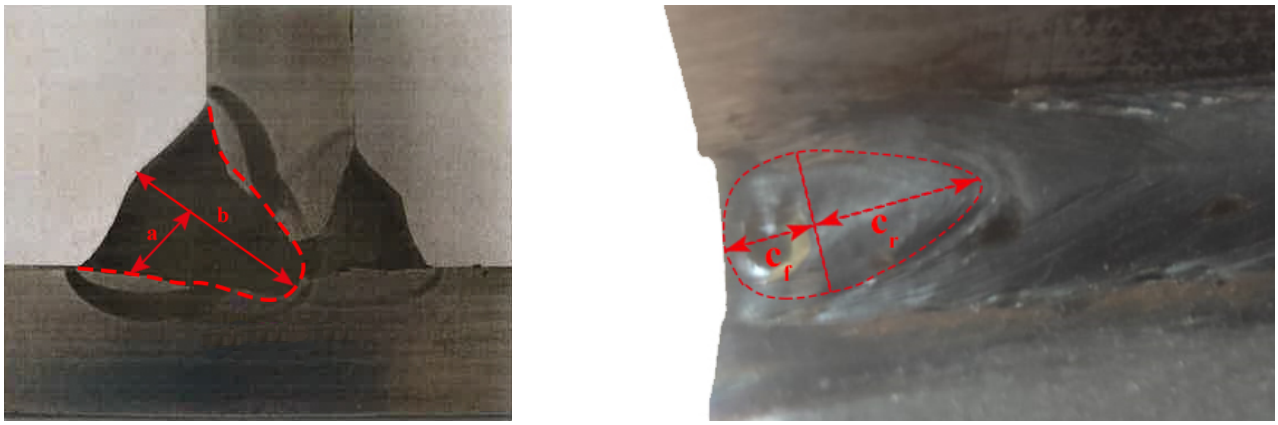
$$q_f(x,y,z,t) = \frac{6\sqrt{3}QQf_f}{abc_f\pi\sqrt{\pi}} e^{\frac{-3x^2}{a^2}} e^{\frac{-3y^2}{b^2}} e^{\frac{-3[z+\vartheta(\tau-t)]^2}{{c_f}^2}} \quad (1)$$

$$q_r(x,y,z,t) = \frac{6\sqrt{3}QQf_r}{abc_r\pi\sqrt{\pi}} e^{\frac{-3x^2}{a^2}} e^{\frac{-3y^2}{b^2}} e^{\frac{-3[z+\vartheta(\tau-t)]^2}{{c_r}^2}} \quad (2)$$



Şekil 3. *Çift elipsoid Goldak modeli*

APDL kodu ile tanımlamalar yapılırken Goldak modelinin parametreleri, kaynak hızı, toplam süre parametreleri ile programlanmaktadır. Bu parametrelerin kod vasıtasıyla girilmesi ile ısı girdisi, termal analiz için tanımlanmaktadır. Termal analizde tanımlanan Goldak parametreleri için metal aktif gaz (MAG) kaynağı ile numune hazırlanmış olup Şekil 4'te gösterilmektedir. Tablo 2'de hazırlanan numunenin kaynak parametreleri ve bu parametrelere göre çıkarılan Goldak parametreleri belirtilmektedir.



(a) (b)

Şekil 4. *Goldak parametreleri için hazırlanan numune (a) a ve b değeri için (b) cf ve cr değerleri için*

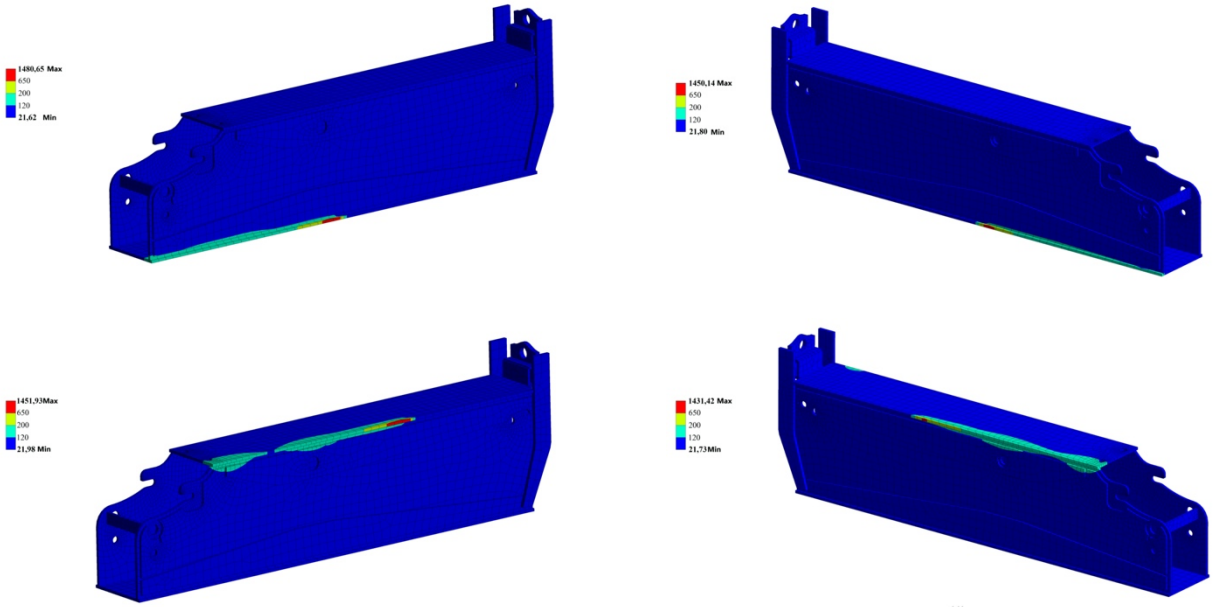
Tablo 2. *Kaynak ve Goldak Parametreleri*

Parametre	**Birim**	**Değer**
Kaynak İlerleme Hızı	cm/dk	30
Voltaj	V	26
Akım	A	200
Dolgu Teli Kalınlığı	mm	1.2
Isı Girdisi	kj/mm	0.81
İş Parçası ve Ana Malzeme Kalınlığı	mm	10
Dolgu Teli Akma Dayanımı	MPa	700
a	mm	5
b	mm	12
c_f	mm	11
c_r	mm	23

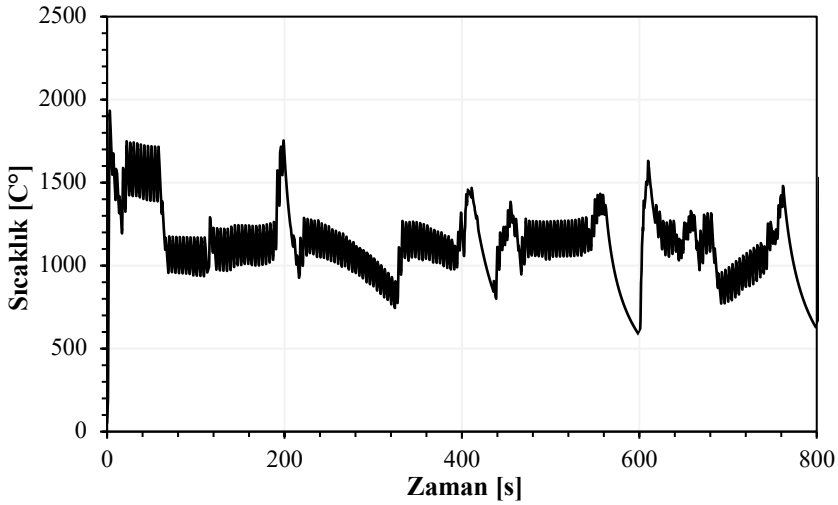
BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

SEA modelinin APDL kodunda bulunan Goldak tanımlanması ile termal analiz hazır hale getirilmiştir. Kaynak sırası yapı üzerinde koordinat sisteminin numarası ile tanımlanmış olup 800s süre tanımlanmıştır. Dört adet kaynak sırası tanımlanmıştır. Termal ve yapısal analizler toplam 40.6 saatte tamamlanmıştır. Şekil 5'te

gösterilen termal analiz sonuçlarında kırmızı renk skalası 650 C° üzerindeki değerleri ifade etmekte olup anlık zamandaki kaynağın yapıldığı bölgeyi ifade etmektedir. Kaynak sırası için Şekil 5 (a) 1. kaynak sırasının 100. Saniyedeki anı, (b) 2. kaynak sırasının 300. saniyedeki anı, (c) 3. kaynak sırasının 500. saniyedeki anı, (d) 4. kaynak sırasının 700. saniyedeki anını göstermektedir. Şekil 6'da termal analizi sonucunda 800 saniye boyunca elde edilen sıcaklık değerleri gösterilmektedir. Goldak modeli ile tanımlanan kaynak parametreleri için termal analiz sonuçlarına göre maksimum sıcaklık 1915°C tespit edilmiştir.



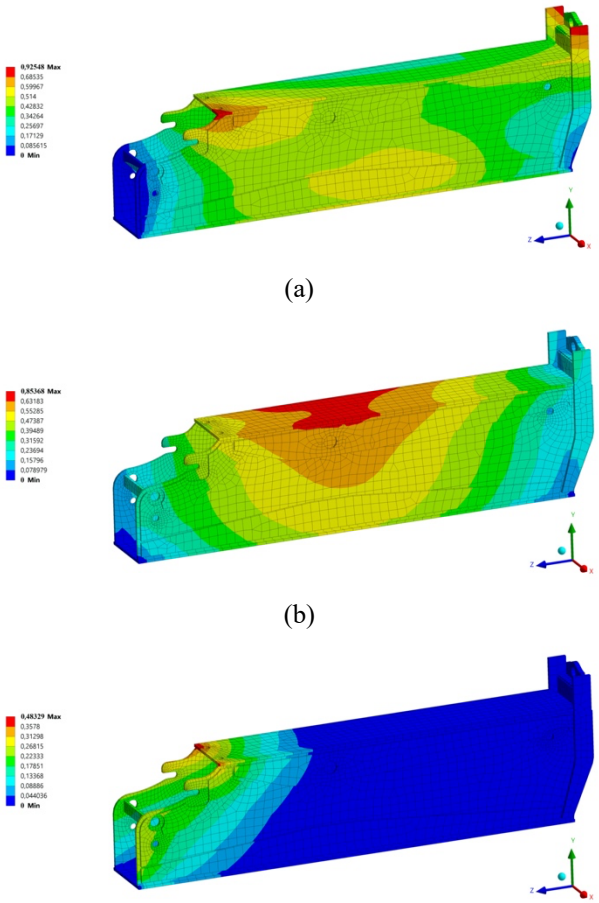
Şekil 5. *Kaynak işlemi anlık termal analiz sıcaklık (°C) sonuçları*



Şekil 6. *Termal analiz sıcaklık grafiği*

Termal analizde elde edilen zamana bağlı sıcaklık değerleri yapısal analiz girdilerine tanımlanmıştır. Sınır şartları olarak yapının alt ön ve arka kenarlarından sabitlenmiştir. Malzeme ise S690 özelliklerine göre Tablo 1 ve Şekil 2 belirtilen doğrusal olmayan özellikler ile tanımlanmıştır. Böylelikle plastik deformasyon değerleri de görülmüştür. Şekil 7'de yapısal analiz sonucunda, zamana bağlı olarak elde edilen kaynak bitiminden sonra oluşan distorsiyon değerleri gösterilmektedir.

Termal analizde elde edilen sıcaklık değerleri yapının geometrik özelliklerine bağlı olarak da değişkenlik gösterebilmektedir. Termal analiz sonucunda gerçekleştirilen yapısal analizde de distorsiyon miktarı sıcaklığa bağlı olarak atalet momentine göre de değişkenlik gösterebilmektedir. Buna bağlı olarak maliyeti de değişkenlik



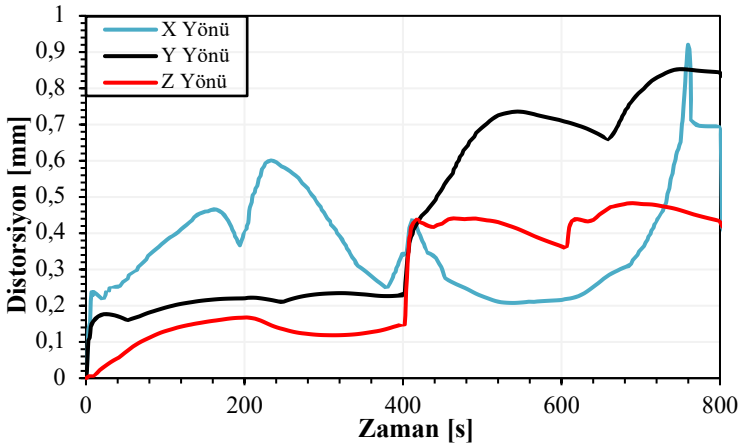
(a)

(b)

(c)

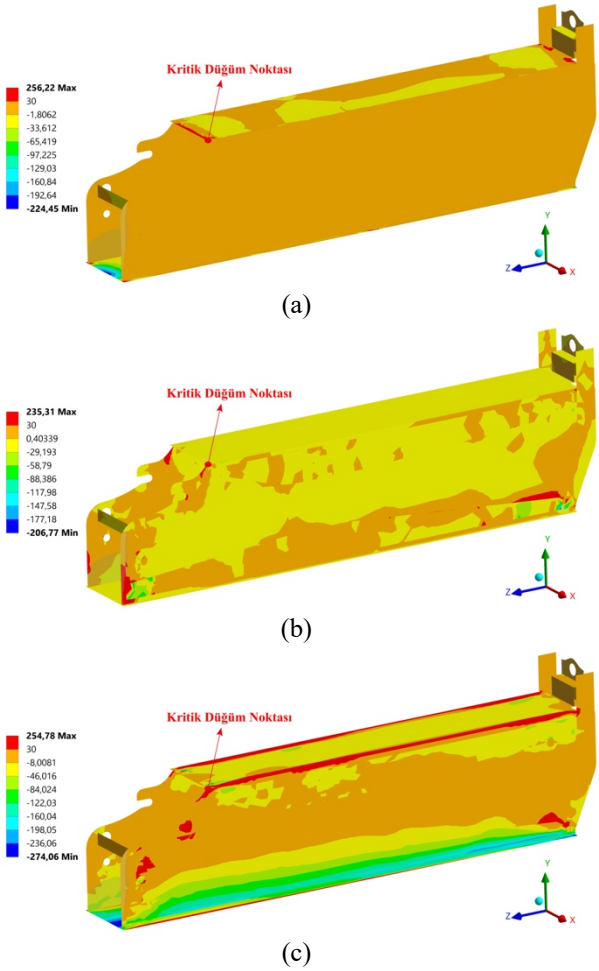
Şekil 7. *SEA distorsiyon sonuçları (a) X yönü (b) Y yönü (c) Z yönü*

göstermektedir. İncelenen yapıda tasarım atalet momentini artırmak, üretim maliyetinin yüksek olmaması, ağırlıkların yüksek olmaması, yapısal emniyeti sağlayan tasarım iyileştirmeleri gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar iyileştirilmiş nihai tasarıma göre değerlendirilmiştir. Şekil 8'de tüm kaynak sürecinde oluşan distorsiyon miktarları gösterilmektedir. Şekil 8'de gösterilen distorsiyon miktarları yapının herhangi bir noktasındaki maksimum deformasyon miktarına göre belirlenmiştir. Kaynak esnasında X yönünde 0.92 mm, Y yönünde 0.85 mm, Z yönünde 0.48 mm distorsiyon miktarları tespit edilmiştir. Kaynak tamamlandıktan sonra 800°C'de sıcaklığın azalması ile beraber X yönünde 0.56 mm, Y yönünde 0.83 mm ve Z yönünde 0.37 mm distorsiyon değerleri tespit edilmiştir.



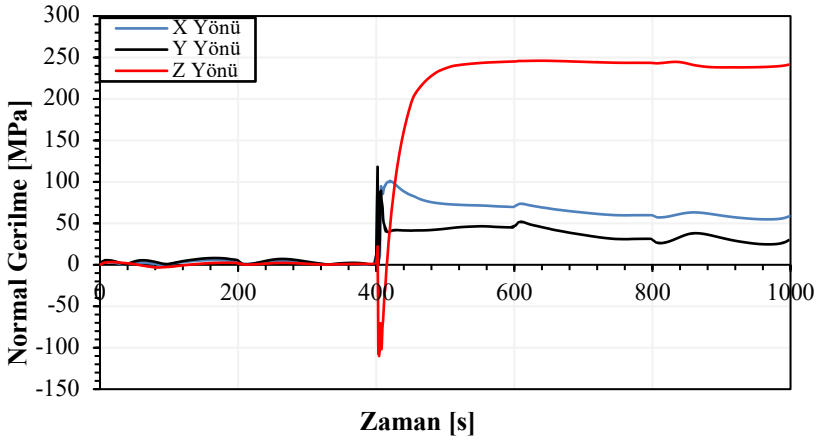
Şekil 8. *Distorsiyon miktarı sonuçları*

Distorsiyon tespit edildikten sonra ısı girdisinden dolayı kaynak sonrası kalıntı gerilmeler incelenmiştir. İncelemeler maksimum normal gerilme olarak değerlendirilmiş olup en kritik düğüm noktası tespit edilmiştir. Bu düğüm noktası 3 eksende incelenerek oluşan maksimum normal gerilmeye göre belirlenmiştir. Şekil 9'da incelenen yapıda kaynak yapıldıktan sonra oluşan kalıntı gerilmeler gösterilmektedir. Kalıntı gerilmelerde düğümlerine göre çekme ve basma gerilmeleri bulunmaktadır.



Şekil 9. *Kaynak sonrası kalıntı gerilme sonuçları (a) X yönü (b) Y yönü (c) Z yönü*

Elde edilen normal gerilme sonuçlarına göre X ve Z eksenlerinde yüksek gerilmeler tespit edilmiştir. Bu eksenlerde, tasarım iyileştirme sürecinde, yapının normal gerilme ve distorsiyon miktarlarının azaltılması amaçlanmış olup gösterilen nihai tasarım sonuçları elde edilmiştir. İncelemeler neticesinde kritik düğüm noktası 400-600 saniye arasında kaynak yapılan yolda olduğu belirlenmiştir. Şekil 10'da kritik düğüm noktasının tüm kaynak sürecinde oluşan normal gerilme dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 10. *Kritik düğüm noktası zamana bağlı normal gerilme sonuçları*

Düğüm noktasında kaynağın 400. saniyesinde basma gerilmeleri oluşmakta olup yaklaşık 20 saniyeden sonra tüm eksenlerde çekme gerilmesine dönmüştür. Düğüm noktasının bulunduğu 3. kaynak yolu 600. saniye tamamlandıktan sonra o noktadaki normal gerilme de azalma görülmüştür. Bu noktada kaynak boyunca oluşan en yüksek gerilme çekme gerilmesi Z ekseninde 246.14 MPa, en yüksek basma gerilmesi ise -110.04 MPa tespit edilmiştir. Kaynak diğer kaynak yolunda tamamlandıktan sonra kritik düğüm noktasında kalıntı gerilme değeri, X ekseninde 59.87 MPa, Y ekseninde 31.4 MPa ve Z ekseninde 243.56 MPa olduğu tespit edilmiştir. Kritik düğüm noktasında kaynak tamamlandıktan sonra %1.06 normal gerilmenin azaldığı görülmüştür.

Goldak modeli için hazırlanan SEA çalışmalarında Goldak parametrelerinin numune hazırlanarak belirlenmesi distorsiyon ve kalıntı gerilmenin tespiti için daha doğru sonuçlar elde edilebileceği literatürde bulunan çalışmalarda incelenmiştir [26]. Fakat bu parametreleri doğrulamadan yapılan çalışmalarda mevcut olup bu kaynak parametrelerine göre yapılması durumunda farklı hatalı değerlere sebep olabilir. Distorsiyon ve kalıntı gerilme değerleri kaynak yönü, geometrisi ve birçok etkene bağlı olup bu etkenlere göre incelemeler gerçekleştirilebilir. Karmaşık yapıda olmayan geometrilerde distorsiyonların ve kalıntı gerilmelerin kaynak yönlerine göre optimize edilmesi gibi çalışmalar bulunmaktadır [27]. Bazı çalışmalarda çok pasolu kaynak işlemleri için incelemeler yapılmıştır [28, 29]. Fakat bu çalışmada olduğu gibi karmaşık yapılarda bu tür uygulamalar oldukça uzun sürmektedir. Bu çalışma da bu sebeple 4 kaynak yolunun -Z ekseninde ilerlemesi tanımlamalar bulgular elde edilmiştir. Bu çalışmada maksimum kalıntı gerilme değeri Z ekseninde 243.56 MPa, maksimum distorsiyon miktarı ise Y ekseninde 0.83 mm tespit edilmiştir. Literatürde farklı çalışmaların malzeme ve parametrelerinde, tasarlanan yapının atalet momentine göre kalıntı gerilme ve distorsiyon miktarları değişkenlik gösterebilmektedir [30, 31].

SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, sonlu elemanlar analizi kullanılarak termal analiz ve yapısal analiz yöntemlerinin birleşik kullanımı ve Goldak modeli ile distorsiyon ve kalıntı gerilme tespit edilmiştir. Distorsiyon, malzemenin ısı veya mekanik yük altında deformasyon veya bükülme şeklindeki değişimi olarak tanımlanır. Distorsiyonun kontrolü, hassas parçaların üretimi ve montajı süreçlerinde büyük önem taşır. Ayrıca, kalıntı gerilmeler yapısal olarak emniyeti etkileyerek yorulma ömrünü azaltabilir. Bu çalışmada, dört farklı kaynak yolu için karmaşık bir yapıda termal analizler gerçekleştirilmiştir. Ansys yazılımı kullanılarak SEA analizi yapılmış ve Goldak çift elipsoit modeli APDL ile tanımlanmıştır. Elde edilen veriler, malzemenin ısınma ve soğuma davranışını anlamak için kullanılmıştır. Daha sonra, termal analiz sonuçları yapısal analizle birleştirilerek distorsiyonun nedenleri, etkileri ve kalıntı gerilme tespiti değerlendirilmiştir. Yapısal analiz sonucunda, ısı kaynaklı yüklerin neden olduğu gerilmeler ve deformasyonlar incelenmiştir. Çalışma sonucunda, mobil bir vince ait karmaşık bir yapıda kalıntı gerilme olarak 243.56 MPa ve kaynak tamamlandıktan sonra oluşan distorsiyon olarak X ekseninde 0.56 mm, Y ekseninde 0.83 mm ve Z ekseninde 0.37 mm tespit edilmiştir. Bu bulgular ve yaklaşımlar, hassas parçaların üretimi ve montajı süreçlerinde distorsiyonun önlenmesi veya minimize edilmesi için yaklaşımlar sunmaktadır. Sonuç olarak, bu çalışma, termal analiz ve yapısal analiz yöntemlerinin birleşik kullanımıyla distorsiyonun ve kalıntı gerilmenin tespit edilmesini ele almıştır. Bu yaklaşım, SEA ile önceden tespit edilerek hassas parçaların üretimi ve montajı süreçlerinde distorsiyonun kontrolünü sağlamak ve kalıntı gerilmenin etkilerini azaltmak için bir araç olarak önerilmiştir. Gelecek çalışmalarda, literatürde sıralama optimizasyonunda kullanılan genetik algoritmanın bu çalışmada kullanılan APDL kodu ile haberleştirilmesi sağlanarak karmaşık yapılarda en uygun kaynak sırasının tespiti için geliştirilebilir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENTS)

Bu çalışma MPG Makine İmalat Sanayi ve Tic. A.Ş. tarafından desteklenmiştir. MPG Makine İmalat Sanayi ve Tic. A.Ş.'ye teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA (REFERENCES)

[1] B. Chandrasekaran, T.R. Johnson, J.W. Smith, Task-structure analysis for knowledge modeling, *Communications of the ACM.* 35(9) (1992), 124-137. doi:10.1145/130994.131002

[2] D. Deng, H. Murakawa, Prediction of welding distortion and residual stress in a thin plate butt-welded joint, *Computational Materials Science.* 43(2) (2008), 353-365. doi:10.1016/j.commatsci.2007.12.006

[3] D. Deng, H. Murakawa, W. Liang, Numerical simulation of welding distortion in large structures, *Computer methods in applied mechanics and engineering.* 196(45-48) (2007), 4613-4627. doi:10.1016/j.cma.2007.05.023

[4] K. Zhang, W. Dong, S. Lu, Residual stress and distortion in thick-plate weld joint of AF1410 steel: finite element simulations and experimental studies, *Materials Research Express.* 9(1) (2022), 016524. doi:10.1088/2053-1591/ac4c5d

[5] S.D. Banik, S. Kumar, P.K. Singh, S. Bhattacharya, M.M. Mahapatra, Distortion and residual stresses in thick plate weld joint of austenitic stainless steel: Experiments and analysis, *Journal of Materials Processing Technology.* 289 (2021), 116944. doi:10.1016/j.jmatprotec.2020.116944

[6] J. Zhang, L. Yu, Y. Liu, H. Li, C. Liu, J. Wu, J. Ma, Z. Li, Effect of welding sequences on the welding stress and distortion in the CFETR vacuum vessel assembly using finite element simulation, *International Journal of Pressure Vessels and Piping.* 175 (2019), 103930. doi:10.1016/j.ijpvp.2019.103930

[7] C. Wu, J.-W. Kim, Review on mitigation of welding-induced distortion based on FEM analysis, *Journal of Welding and Joining.* 38(1) (2020), 56-66. doi:10.5781/JWJ.2020.38.1.6

[8] H. Vemanaboina, E. Gundabattini, K. Kumar, P. Ferro, B. Sridhar Babu, Thermal and residual stress distributions in Inconel 625 butt-welded plates: simulation and experimental validation, *Advances in Materials Science and Engineering.* 2021 (2021), 1-12. doi:10.1155/2021/3948129

[9] H. Vemanaboina, M.M. Babu, I.C. Prerana, G. Edison, B. Yelamasetti, K.K. Saxena, K. Hazim Salem, M.I. Khan, S.M. Eldin, M.K. Agrawal, Evaluation of residual stresses in CO2 laser beam welding of SS316L weldments using FEA, *Materials Research Express.* 10(1) (2023). doi:10.1088/2053-1591/acb0b5

[10] H. Vemanaboina, S. Akella, A. Uma Maheshwer Rao, E. Gundabattini, R.K. Buddu, Analysis of thermal stresses and its effect in the multipass welding process of SS316L, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering.* 235(2) (2021), 384-391. doi:10.1177/0954408920965062

[11] M.B. Bilgin, K. Gök, A. Gök, Three-dimensional finite element model of friction drilling process in hot forming processes, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering.* 231(3) (2017), 548-554. doi:10.1177/0954408915614300

[12] M. Nezamdost, M.N. Esfahani, S. Hashemi, S. Mirbozorgi, Investigation of temperature and residual stresses field of submerged arc welding by finite element method and experiments, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology.* 87 (2016), 615-624. doi:10.1007/s00170-016-8509-4

[13] A. Chiocca, F. Frendo, L. Bertini, Evaluation of heat sources for the simulation of the temperature distribution in gas metal arc welded joints, *Metals.* 9(11) (2019), 1142. doi:10.3390/met9111142

[14] J. Goldak, M. Bibby, J. Moore, R. House, B. Patel, Computer modeling of heat flow in welds, *Metallurgical transactions B.* 17 (1986), 587-600. doi:10.1007/BF02670226

[15] N. Moslemi, S. Gohari, B. Abdi, I. Sudin, H. Ghandvar, N. Redzuan, S. Hassan, A. Ayob, S. Rhee, A novel systematic numerical approach on determination of heat source parameters in welding process, *Journal of Materials Research and Technology.* 18 (2022), 4427-4444. doi:10.1016/j.jmrt.2022.04.039

[16] F. Vakili-Tahami, A. Ziaei-Asl, Numerical and experimental investigation of T-shape fillet welding of AISI 304 stainless steel plates, *Materials & design.* 47 (2013), 615-623. doi:10.1016/j.matdes.2012.12.064

[17] A. Gharib, F. Biglari, M. Shafaie, A. Kokabi, Experimental and numerical investigation of fixture time on distortion of welded part, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology.* 104 (2019), 1121-1131. doi:10.1007/s00170-019-03874-0

[18] S. Sarkani, V. Tritchkov, G. Michaelov, An efficient approach for computing residual stresses in welded joints, *Finite elements in analysis and design.* 35(3) (2000), 247-268. doi:10.1016/S0168-874X(99)00068-2

[19] T. Kik, M. Slovacek, J. Moravec, M. Vanek. Numerical Analysis of Residual Stresses and Distortions in Aluminium Alloy Welded Joints: *Applied Mechanics and Materials*, *Trans Tech Publ*, (2015), 443-448.

[20] R. Farias, P. Teixeira, L. Vilarinho, Variable profile heat source models for numerical simulations of arc welding processes, *International Journal of Thermal Sciences.* 179 (2022), 107593. doi:10.1016/j.ijthermalsci.2022.107593

[21] D.B. Darmadi, A. Kiet-Tieu, J. Norrish, A validated thermo mechanical FEM model of bead-on-plate welding, *International Journal of Materials and Product Technology 15.* 48(1-4) (2014), 146-166. doi:10.1504/IJMPT.2014.059047

[22] K. Venkateswarlu, P.N. Kumar, P. Ravikumar, Finite element simulation of temperature distribution, distortion and residual stresses of dissimilar welded joints, *Materials Today: Proceedings.* 5(5) (2018), 11933-11940. doi:10.1016/j.matpr.2018.02.167

[23] F. Zamiri Akhlaghi, C. Acevedo, A. Nussbaumer, J. Krummenacker. Investigation of technological size effects of welding on the residual stresses and fatigue life of tubular joints made of structural steels S355 and S690: *Fatigue design*, France, (2011), 1-8.

[24] S. Liu, Z. Wu, H. Liu, H. Zhou, K. Deng, C. Wang, L. Liu, E. Li, Optimization of welding parameters on welding distortion and stress in S690 high-strength steel thin-plate structures, *Journal of Materials Research and Technology.* (2023). doi:10.1016/j.jmrt.2023.05.169

[25] J. Goldak, A. Chakravarti, M. Bibby, A new finite element model for welding heat sources, *Metallurgical transactions B.* 15 (1984), 299-305. doi:10.1007/BF02667333

[26] K. Sripriyan, M. Ramu, K. Anantharuban, M. Karthigha, Characteristic of weld bead using flat wire electrode in GMAW inline during the process: An experimental and numerical analysis, *International Journal of Pressure Vessels and Piping.* 196 (2022), 104623. doi:10.1016/j.ijpvp.2022.104623

[27] A. Savaş, TIG kaynağı ile gerçekleştirilen sert dolgu sırasında oluşan artık gerilme ve deformasyonların modellenmesi, *Mühendis ve Makina.* 62(704) (2021), 620-636. doi:10.46399/muhendismakina.937623

[28] A. Capriccioli, P. Frosi, Multipurpose ANSYS FE procedure for welding processes simulation, *Fusion engineering and Design.* 84(2-6) (2009), 546-553. doi:10.1016/j.fusengdes.2009.01.039

[29] Y. Zhang, L. Tian, The effect of joint configuration on residual stress and distortion of the 304 stainless steel multi-pass welded joints, *Materials Today Communications.* 30 (2022), 103070. doi:10.1016/j.mtcomm.2021.103070

[30] X. Li, L. Hu, D. Deng, Influence of contact behavior on welding distortion and residual stress in a thin-plate butt-welded joint performed by partial-length welding, *Thin-Walled Structures.* 176 (2022), 109302. doi:10.1016/j.tws.2022.109302

[31] A. Pavan, B. Arivazhagan, M. Vasudevan, G.K. Sharma, Numerical simulation and validation of residual stresses and distortion in type 316L (N) stainless steel weld joints fabricated by advanced welding techniques, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology.* 39 (2022), 294-307. doi:10.1016/j.cirpj.2022.08.010

EK-1: Tek Kaynak Uzunluğu için Hazırlanan APDL Kodu

```
CMSEL, ALL
*GET,EMAX,ELEM,,NUM,MAX
*GET,EMIN,ELEM,,NUM,MIN
ALLSEL
TIME_WELD=200
DT=1
a=0.005
b=0.012
Cf=0.011
Cr=0.023
TAU=0.5
FF=0.6
FR=1.4
V=26
I=200
Q=810
VEL=4e-3
NPT=TIME_WELD/DT
NROPT,FULL
*DO,i,1,NPT,1
WTIME=(i)
TIME,WTIME
HCENTER=VEL*WTIME
*DO,j,EMIN,EMAX,1
CSYS,12
*GET,X,ELEM,jj,CENT,X
*GET,Y,ELEM,jj,CENT,Y
*GET,Z,ELEM,jj,CENT,Z
X=CENTRX(j)
Y=CENTRY(j)
Z=CENTRZ(j)
CSI=Z+VEL*(WTIME)
PART1=(6*(3**0.5)*F*Q)/(a*b*c*3.14*(3.14**0.5))
PART2=(exp(-3*(X/a)**2))*(exp(-3*(Y/b)**2))*(exp(-3*(CSI/c)**2))
QF=PART1*PART2
BFE,j,HGEN,,QF
*ENDDO
SOLVE
*ENDDO
CMSEL,ALL
BFEDELE,ALL,ALL
ALLSEL
```

Necmettin Erbakan Üniversitesi
Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi
Journal of Science and Engineering (NEJSE)
DOI:10.47112/neufmbd.2023.10

Cilt: 5 Sayı:2 Yıl: 2023 | Araştırma Makelesi / Research Article | E-ISSN: 2667- 7989

K En Yakın Komşu Algoritması ile Binalarda Enerji Verimliliği Tahmini

Mehmet HACIBEYOĞLU [1] **Merve ÇELİK** [2] **Özlem ERDAŞ ÇİÇEK** [3]

[1] Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, hacibeyoglu@erbakan.edu.tr *(Sorumlu Yazar/ Corresponding Author)*

[2] Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, Türkiye

[3] Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, ozlem.erdascicek@erbakan.edu.tr

Makale Bilgileri

Makale Geçmişi
Geliş: 31.05.2023
Kabul: 31.07.2023
Yayın: 31.12.2023

Anahtar Kelimeler:
Enerji verimliliği,
Lineer regresyon,
K en yakın komşu,
Makine öğrenmesi.

ÖZ

Binaların ısıtma ve soğutma yükleri, bir binanın içindeki hava sıcaklığının belirli bir sıcaklıkta tutmak için gereken enerji miktarlarını ifade eder. Bu yükler, binanın yalıtımı, boyutu, şekli, konumu, kullanılan malzemeler ve ısıtma sistemi gibi birçok faktöre bağlıdır. Toplumsal refahın artırılmasında vazgeçilmez bir etken olan enerjinin giderek önem kazandığı günümüzde binalardaki enerji tüketiminin azaltılması hem çevresel sürdürülebilirlik hem de ekonomik açıdan önemlidir. Bu çalışmada denetimli makine öğrenmesi algoritmalarından doğrusal regresyon ve k en yakın komşu algoritmaları kullanılarak bir regresyon problemi olan binalarda enerji verimliliği tahmini yapacak bir model geliştirilmiştir. Deneysel çalışmalar, 12 faklı binadan elde edilen sekiz adet şart özelliğe ve ısıtma yükü ve soğutma yükü olmak üzere iki sınıf değerine sahip toplamda 768 adet veri barındıran enerji verimliği veri kümesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada k en yakın komşu algoritmasının k parametre değeri optimize edilerek performansı arttırılmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlara göre k en yakın komşu algoritması doğrusal regresyon algoritmasına göre çok daha başarılı ve %96'lar seviyesinde tahminler gerçekleştirmiştir. Çalışma sonunda elde edilen denetimli makine öğrenmesi modeli ile binaların enerji analizleri kolaylıkla yapılabilecek ve elde edilen analiz sonuçları enerji verimliliğinin arttırılabilmesi için geliştirilecek politikalarda kullanılabilecektir.

Energy Efficiency Estimation in Buildings with K Nearest Neighbor Algorithm

Article Info

Article History
Received: 31.05.2023
Accepted: 31.07.2023
Published: 31.12.2023

Keywords:
Energy efficiency,
Linear regression,
K nearest neighbor,
Machine learning.

ABSTRACT

The quantity of energy needed to maintain a particular temperature inside a structure is referred to as the facility's heating and cooling loads. These loads are influenced by a variety of elements, including the building's insulation, size, shape, location, type of materials used, and heating system. The reduction of energy consumption in buildings is crucial in terms of both the environmental sustainability and the profitability of the building industry. This is because energy is becoming an increasingly important issue, and it is an essential component in improving social welfare. In this study, a model has been developed to predict energy efficiency in buildings with a regression problem by using linear regression and k nearest neighbor algorithms from supervised machine learning algorithms. Experimental studies were carried out using an energy efficiency dataset containing a total of 768 data with eight conditional properties and two class values, heating load and cooling load, obtained from 12 different buildings. The study improved the performance of the k nearest neighbor algorithm by optimizing the k parameter value. According to the experimental results obtained, the k nearest neighbor algorithm was much more successful than the linear regression algorithm and made predictions at the level of 96%. With the supervised machine learning model obtained at the end of the study, energy analyzes of buildings can be easily done and the obtained analysis results can be used in policies to be developed to increase energy efficiency.

Atıf/Citation: Hacıbeyoğlu, M; Çelik, M. & Erdaş Çiçek, Ö. (2023). K en yakın komşu algoritması ile binalarda enerji verimliliği tahmini, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, *5*(2), 65-74. https://doi.org/10.47112/neufmbd.2023.10

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

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Makine öğrenmesi, insanların öğrenme şeklini taklit etmek için verilerin ve algoritmaların kullanımına odaklanan bir yapay zekâ ve bilgisayar bilimi dalıdır. Makine öğrenmesi algoritmaları öğrenme yöntemlerine göre temelde denetimli ve denetimsiz olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Denetimli makine öğrenmesi algoritmaları, bilgisayarların gerçek dünyada bir probleme çözüm getirmesi için etiketli eğitim kümesinden öğrenen yapay zekânın alt dalıdır. Bu algoritmalar, bir bilgisayar programının insan müdahalesi olmadan öğrenmesine ve gelişmesine olanak sağlar. Denetimli makine öğrenmesi algoritmalarının çalışma mantığında, verileri işleyip onlardan belirli desen ve anlamlar çıkarmak veya belirli modeller geliştirmek vardır [1]. Geliştirilen model ile veriler üzerinde bir görevi yerine getirmek için matematiksel formüller veya algoritmalar kullanılarak öğrenme başarısı arttırılmaya çalışılır. Denetimli makine öğrenmesi algoritmalarında genellikle öğrenme süreci algoritmik olarak tekrarlı işlemlerden oluşur. Bu tekrarlı işlemlerde, model veriler üzerinde çalışır ve performansını iyileştirmek için ayarlanır. Daha fazla veri üzerinde uygun parametrelerde ve yeterli süre çalışan denetimli makine öğrenmesi algoritmaları daha iyi sonuçlar elde etmek için sürekli olarak öğrenir ve gelişir. Bu nedenle denetimli makine öğrenmesi algoritmaları, günümüzde teknolojik yeniliklerin bir öncüsü olarak kabul edilmekte ve otonom sürüş sistemleri, sesli asistanlar, nesne tanıma, doğal dil işleme, tıbbi teşhis gibi birçok farklı alanda kullanılmaktadır [2-6]. Denetimli makine öğrenmesi algoritmalarının kullanım alanlarının, her geçen gün artması ile birlikte insanların yapmakta zorlandığı görevler gerçekleştirilebilmekte ve bilgisayarların daha verimli bir şekilde kullanılmasını sağlanmaktadır. Bu görevler verilerin analiz edilmesi, tahmininin yapılması, sınıflandırılması, görüntü tanınması, vb. gerçek dünya problemleridir. Bu problemlerin çözümü için literatürde sıklıkla kullanılan denetimli makine öğrenmesi algoritmaları karar ağaçları, rasgele orman, destek vektör makinesi, naive bayes ve k en yakın komşu algoritmasıdır [7-9]. Denetimsiz makine öğrenmesi algoritmaları da kümeleme problemlerinin çözümünde, veriler arasında ilişkileri keşfetmek ve optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılır [10,11].

Günümüzde dünya genelinde ülkelerin, kurumların ve bireyler enerji ihtiyacı artan nüfus ve teknolojik gelişmeler ile birlikte her geçen gün biraz daha artmaktadır. Ayrıca enerji, endüstriyel alanda birçok ürünün üretiminde de kullanılmaktadır. Artan bu enerji ihtiyacı karşılayabilmek için yeni enerji kaynaklarına finansal yatırımlar yapılmakta ve özellikle ülkemiz için dışarıdan enerji ithal edilmektedir. Bu yüzden enerji ülkelerde ki refahın ve ekonomik gelişmenin sağlanmasında büyük bir öneme sahiptir. Dünya genelindeki enerji tüketiminin yaklaşık %30'u binalarda ısıtma ve soğutma işlemleri için kullanılmaktadır [12]. Binalarda enerji verimliliğinin en yüksek seviyede olması çevresel sürdürülebilirlik hem de ekonomik açıdan önemli bir kriterdir. O yüzden var olan binaların ısıtma ve soğutma enerji verimlilik hızlı bir şekilde hesaplanması ve gerekli önlemlerin alınması enerji tüketimini azaltacaktır. Bu problemin çözümü içinde makine öğrenmesi algoritmalarından faydalanılabilir.

Denetimli makine öğrenmesi algoritmaları genellikle sınıflandırma veya regresyon problemlerinin çözümünde kullanılır. Makine öğrenmesi algoritması şart özelliklerini bildiği problem için sınıf değerini tahmin etmeye çalışır. Eğer tahmin edilen değer kategorik ise sınıflandırma, nümerik ise regresyon problemidir. Bu çalışma da bir regresyon problemi olan binalarda enerji verimliliğinin k en yakın komşu makine öğrenmesi algoritması ile tahmini üzerine bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Literatürde enerji verimliliği hakkında son yıllarda yapılan çalışmalar incelendiğinde, 2022 yılında Yıldız ve ark. tarafından yapılan çalışmada [13] kural tabanlı yöntemlerden karar ağaçları kullanılmıştır. Veri kümesine öncelikle belirli veri önişleme işlemleri yapılmış ve karar ağaçları algoritması ile binaların, duvar alanı, cam yüzey alanı, çatı alanı gibi fiziksel parametrelerinin kullanılarak, ısıtılması ve soğutulması için gerekli enerji yükünün kabul edilebilir hata payları ile öngörülebildiği söylenmiştir. 2022 yılında Canbay ve Taş tarafından yapılan çalışmada [14] yapıların ısıtma ve soğutma yüklerinin yapay zekâ ile tahmini üzerinde durulmuştur. Yapılan çalışmada karar ağaçları, rasgele orman, lineer regresyon, k en yakın komşu ve karar destek sistemleri algoritmaları kullanılarak binaların 8 farklı özelliği üzerinden, binaların ısıtma ve soğutma için ihtiyaç duyacakları enerji tüketimini tahminlemesi gerçekleştirilmiştir. Jia ve ark. 2021 yılında yüksek katlı konut binalarının soğutma yükünü tahmin etmek için 30 tane nörondan oluşan bir

yapay sinir ağı modeli geliştirmişlerdir [15]. Peker ve ark. 2017 yılında yapmış oldukları çalışmada enerji tasarruflu bina tasarımı için ısıtma ve soğutma yüklerinin regresyon tabanlı makine öğrenmesi algoritmaları ile modellemişlerdir. Destek Vektör Makinesi Regresyonu, Doğrusal Regresyon, Rasgele Orman Regresyonu ve En Yakın Komşu Regresyonu kullanılan çalışmada hem ısıtma ve soğutma için çıkışlar ayrı ayrı hesaplanmıştır ve en iyi sonucu Rasgele Orman Regresyonunun hesapladığı gözlemlenmiştir [16]. Dilber ve ark. 2022 yılında yaptıkları çalışmada enerji verimli binaların ısıtma ve soğutma yüklerini doğrusal regresyon, k en yakın komşuluk, destek vektör makineleri, karar ağaçları, rastgele orman, uç gradyan artırma ve yapay sinir ağları ile tahminlemesini gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışma ile elde edilen sonuçlara göre tahmin doğruluğu açısından en başarılı algoritmanın uç gradyan artırma algoritmasının olduğu belirtilmiştir [17].

Bu çalışmada binalarda ısıtma ve soğutma işlemleri için enerji verimliliği değerinin makine öğrenmesi yöntemlerinden k en yakın komşu ile tahminlemesi gerçekleştirilmiştir. Enerji verimliliği veri kümesi üzerinde veri önişleme işlemleri yapılmış ve özgünlük olarak k en yakın komşu algoritmasında parametre ayarı ile performans artışı gerçekleştirilmiştir. Çalışmadan elde edilen makine öğrenmesi modeli ile binaların ısıtma ve soğutma verimlilik değerleri kabul edilebilir hata payı ile çok hızlı bir şekilde hesaplanabilecek ve elde edilen bu değerler yardımıyla binalarda enerji verimliliği artıracak ısı yalıtım vb. ek önlemler anılabilecektir [18].

Çalışmanın geri kalanı şu şekilde düzenlenmiştir. Materyal ve metot kısmında çalışmada kullanılan algoritmalar, performans metrikleri ve enerji verimliliği veri kümesi anlatılmaktadır. Deneysel çalışmalar kısmında çalışmanın genel yapısı kullanılan makine öğrenmesi algoritmaların enerji tahmini problemi için tahminleme sonuçları ve elde edilen en iyi sonuçların literatürdeki diğer çalışmalar ile karşılaştırmalı analizi bulunmaktadır. Sonuç kısmında çalışmadan elde edilen bilgiler paylaşılmakta ve gelecekte yapılabilecek çalışmalardan söz edilmektedir.

MATERYAL VE METOT (MATERIALS AND METHODS)

K En Yakın Komşu Algoritması

K En yakın komşu (K Nearest Neighbour, KNN) sınıflandırma ve regresyon problemleri için kullanılan bir denetimli makine öğrenmesi algoritmasıdır. KNN algoritması, özellikle küçük boyutlu veri kümelerinde ve sınıflar arasındaki ayrımın belirgin olduğu durumlarda etkili bir şekilde çalışır. KNN algoritması yeni sınıflandırılacak olan örnek ile eğitim kümesindeki örneklerin uzaklıklarını ölçüp en yakın k tane komşunun sınıf değerlerini kullanarak sınıflandırma işlemlerini gerçekleştirir. Sınıflandırılacak veri ve eğitim verileri arasındaki mesafeyi ölçmek için genellikle aşağıdaki denklemlerde sırayla verilen Öklid, Manhattan ve Minkowski uzaklık ölçüm formülleri kullanılır.

$$\mathrm{d(X,Y)} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i - y_i)^2} \tag{1}$$

$$\mathrm{d(X,Y)} = |x_i - y_i| \tag{2}$$

$$\mathrm{d(X,Y)} = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^{n}|x_i - y_i|^p\right)^{1/p}} \tag{3}$$

Yukarıdaki denklemlerde X sınıflandırılacak olan yeni veriyi ve Y ise veri kümesindeki örneği temsil etmektedir. Her iki veride veri kümesi de özellik sayısı kadar eleman içeren vektör şeklinde tutulmaktadır.

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \tag{4}$$

$$Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\} \tag{5}$$

KNN algoritması regresyon problemlerinde uzaklık ölçütü belirlendikten sonra veri noktasına en yakın

komşuları hesaplayıp komşulara ait hedef değerlerinin interpolasyonlarını hesaplayarak tahminde bulunur [19]. Bu noktada k sayısının optimum değerde seçilmesi en önemli adımlar biridir. k'nın optimum değerde seçilebilmesi için k değerinin belirli aralıklarda testleri gerçekleştirilir [20]. Bu çalışmada k değerinin optimum değerde seçilebilmesi için gerekli test işlemleri yapılmıştır ve sonuçlar deneysel çalışmalar bölümünde verilmektedir.

Regresyon Analizi

Regresyon analizinde amaç belli aralıklarda bulunan bağımsız x değişkenlerini kullanarak bağımlı y değişkenini tahmin etmektir. Bunun için kullanılan pek çok yöntem bulunmaktadır. Bu çalışmada doğrusal regresyon yöntemi kullanılmıştır.

Doğrusal Regresyon

Doğrusal regresyon, gözetimli öğrenmede kullanılan basit ama etkili bir araçtır. Tek bağımsız değişken bulunduğu durumda doğrusal regresyon y = ax + b denklemini çözmeye çalışır. Ancak günümüzde makine öğrenmesi problemlerinde çok sayıda bağımsız olduğu düşünülen değişken bulunmaktadır. Bu durumda çok değişkenli doğrusal regresyon yöntemi bağımsız değişkenleri ile bağımlı y değişkeni arasındaki ilişkiyi modellemeyi amaçlar [21]. Basit bir çok değişkenli doğrusal regresyon modeli y değişkenini doğrusal bir düzlemde düşünür ve $y = f(x1,x2,\ldots,xn) = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \ldots + a_nx_n$ denklemini çözmeye çalışır ve bunu yaparken eğitim kümesindeki verileri kullanır. Burada a_i'ler, i=0, 1, …, n olmak üzere, doğrusal denklemin bilinmeyenlerdir ve gerçek y değerleri ile modelin tahmin ettiği y değerleri arasındaki artık kareler toplamını (AKT) en küçük değerinde tutmayı hedeflerler. Elimizdeki veriyi X matrisi, tahmin edilecek değerleri y vektörü ve öğrenilecek parametreleri de a vektörü olarak düşünecek olursak problem $AKT(a) = (y - aX)^T(y - aX)$ denklemini minimize etme problemine dönüşür. Bunun için de AKT'nin a vektörüne göre alınan diferansiyelini sıfırlayan a_i değerlerinin $\hat{a} = (X^TX)^{-1}X^Ty$ sisteminin çözülerek bulunması gerekir [22].

Ortalama Kare Hatası (Mean Squared Error, MSE)

Ortalama kare hatası bir regresyon probleminde regresyon çizgisinin bir dizi veri noktasına ne kadar yakın olduğunu ölçen metriktir. Karesi alınmış hata kaybının beklenen değerine karşılık gelen bir risk fonksiyonudur. Ortalama kare hatası değerinin büyük olması regresyon problemlerinde tahmin edilen değerlerin istenen noktalardan uzak olduğu manasına gelir ve istenmeyen bir durumdur. Ortalama kare hatası ne kadar küçük olursa tahmin edilen değerlerin veri noktalarına yakın bir şekilde dağıldığını gösterir.

$$MSE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2 \tag{4}$$

Burada y değeri olması gereken değer iken $\hat{y}$ değeri de makine öğrenmesi algoritmasının tahmin değeridir.

Ortalama Mutlak Yüzde Hatası (Mean Absolute Percentage Error, MAPE)

Ortalama mutlak yüzde hatası bir tahmin sisteminin doğruluğu yüzde olarak ölçer. Ortalama yüzde hatası muhtemelen değişkenin birimlerinin anlaşılmasını kolaylaştıran yüzde birimlerine ölçeklendirildiğinden, hatayı tahmin etmek için kullanılan en yaygın ölçüdür [23].

$$MAPE = \frac{100\%}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{y - \hat{y}}{y} \tag{5}$$

Burada y değeri olması gereken değer iken $\hat{y}$ değeri de makine öğrenmesi algoritmasının tahmin değeridir.

Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error)

Ortalama mutlak hata, gerçek değerler ile model çıktısı olan tahminler arasındaki ortalama farktır.

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|\hat{y} - y| \tag{6}$$

Burada y değeri olması gereken değer iken $\hat{y}$ değeri de makine öğrenmesi algoritmasının tahmin değeridir.

R-Kare (R-Squared)

R-Kare hatası regresyon çizgisinin gerçek değerlere göre toplam varyasyon değerini gösterir yani regresyon modelleri için bir uygunluk ölçüsüdür. En iyi R-kare değeri birdir ve ne kadar yüksek olursa makine öğrenme algoritmasının o kadar iyi tahmin ettiğini gösterir.

$$R - Kare = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y}_i)^2} \quad (7)$$

Burada y değeri olması gereken değer iken $\hat{y}$ değeri de makine öğrenmesi algoritmasının tahmin değeri ve $\bar{y}$ değeri y değerlerinin ortalamasıdır.

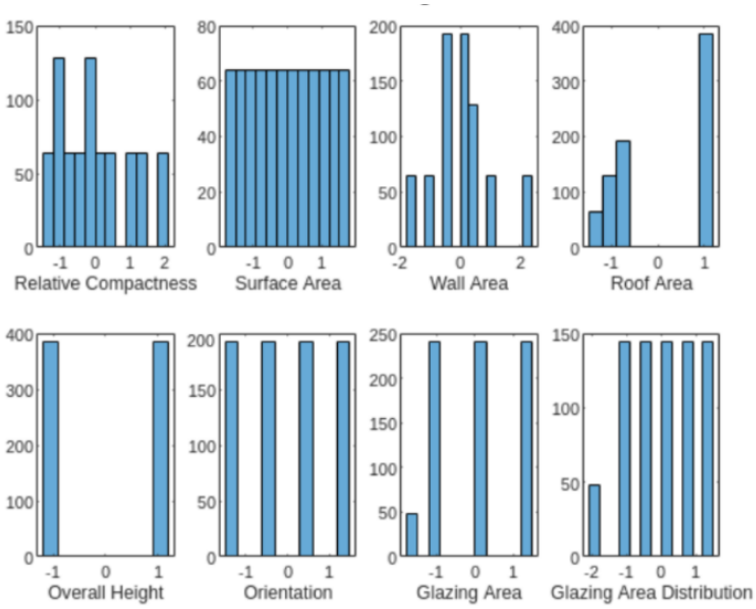
Enerji Verimliliği Veri Kümesi

Bu çalışmada Kaggle makine öğrenimi ve veri bilimi topluluğundan elde edilen enerji verimliliği veri seti kullanılarak python programlama dili ile tahminleme gerçekleştirilmiştir [24]. Çalışmada kullanılan veri setinde 12 farklı binadan elde edilen toplamda 768 adet veri içermektedir. Veri setinin 8 adet şart niteliği ve ısıtma yükü ve soğutma yükü olmak üzere iki farklı sınıf değeri niteliği bulunmaktadır. Deneysel çalışmalar kısmında şart özellikleri üzerinde herhangi bir özellik seçme yapılmış olup normalizyon veri önişlemi sonucunda elde edilen yeni veriler makine öğrenmesi regresyon verilmiştir. Bütün öznitelikler sayısal değerdedir. Veri kümesine ait olan şart öznitelikleri ve açıklamaları aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.

Tablo 1. *Enerji verimliliği veri kümesine ait öznitelikler*

İsim	**Açıklama**
Bağıl Kompaktlık	Yapının dış mimarisinin bütünlüğünü belirtir
Yüzey Alanı	Yapının dış yüzey alanı
Duvar Alanı	Yapının toplam duvar alanı
Çatı Alanı	Yapının toplam çatı alanı
Toplam Yükseklik	Yapının toplam yüksekliği
Cephe Yönelim	Yapının cephe yönelmesi
Cam Alanı	Yapının toplam cam alanı
Cam Alanı Dağılım	Yapının cam alanlarının toplam dış alanlarına oranı

Veri Setinin şart özniteliklerinin değer dağılımı Şekil 1'de gösterilmektedir. Veri setinde eksik veri bulunmamaktadır.



Şekil 1. *Şart özniteliklerin değer dağılımı*

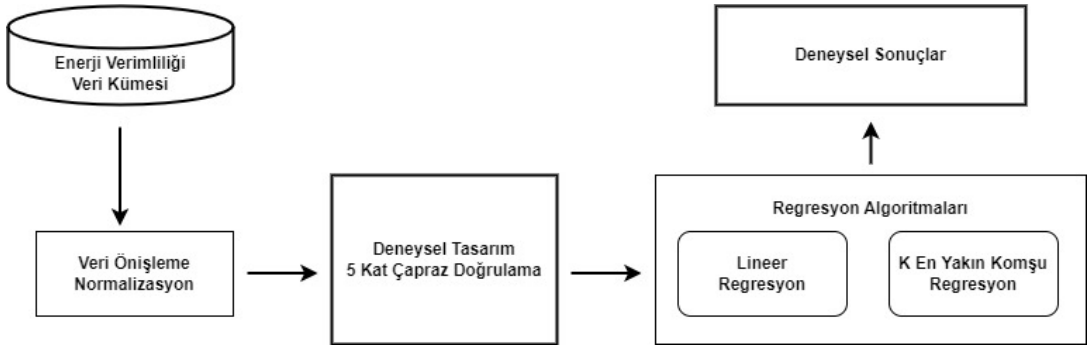
DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDIES)

Deneysel çalışmalarda KNN algoritmasının performansını karşılaştırmak amacıyla lineer regresyon yöntemi seçilmiştir. Tahminleme işlemi öncesinde enerji verimliliği veri kümesinin şart özellikleri aşağıdaki denklemde verilen Min-Max normalizasyon yöntemine göre [0,1] aralığında normalize edilmiştir.

$$x^{'} = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \tag{8}$$

Bu denklemde x'girdi değerinin 0-1 aralığında normalize edilmiş yeni değerini, x_{min} enerji verimliliği veri kümesindeki ilgili şart özelliğinin aldığı en küçük değeri ve x_{max} ise enerji verimliliği veri kümesinde ilgili şart özelliğinin aldığı en büyük değeri göstermektedir. Normalizasyon veri önişlemi sonucunda enerji verimliliği veri kümesindeki bütün şart özelliklerinin değerleri [0,1] arasında normalize edilerek eğitim işlemine bütün şart özelliklerinin aynı oranda etki etmesi sağlanmıştır. Bu sayede denetimli öğrenme algoritmaları daha tutarlı ve sağlam bir şekilde eğitilmişlerdir.

Regresyon algoritmalarının eğitim ve test işlemleri 5 çapraz doğrulama ile yapılmıştır. Eğitim işlemi öncesinde veri kümesi 5 eşit parçaya bölünerek deneysel çalışmanın her bir iterasyonunda beş eşit parçanın bir tanesi test kümesi ve kalan dört tanesi eğitim kümesi olarak seçilmiştir. 5 iterasyon sonucunda elde edilen performans metriklerinin ortalamaları alınarak deneysel çalışma tamamlanmıştır. Deneysel çalışmalar python programlama dilinde sklearn kütüphanesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca KNN regresyon algoritmasında optimum k değerini belirlemek için 3-11 arasında tek sayılar ile KNN regresyon algoritması çalıştırılmış ve ne başarılı sonucu veren k değeri seçilmiştir. Önerilen sistemin blok diyagramı aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.

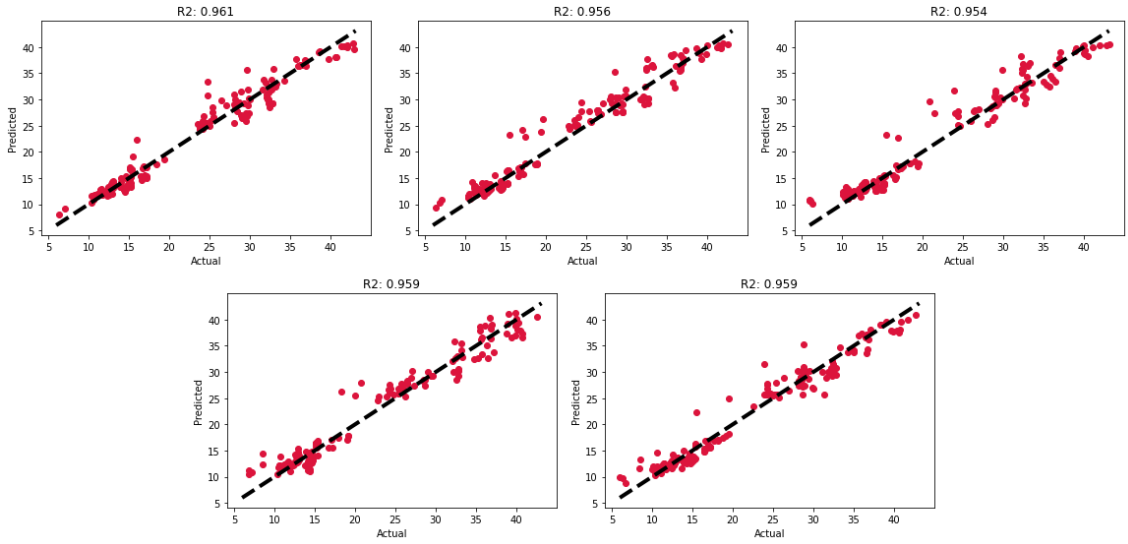


Şekil 2. *Önerilen sistemin blok diyagramı*

Yapılan deneysel çalışmalarda ısıtma yükü ve soğutma yükü sınıf değerleri ayrı ayrı tahmin edilmiş olup performans metrik sonuçları ve tahmindeki hataların şekilsel görünümleri aşağıda gösterilmektedir.

Tablo 2. *Isıtma yükü sınıf değeri için deneysel çalışma sonuçları*

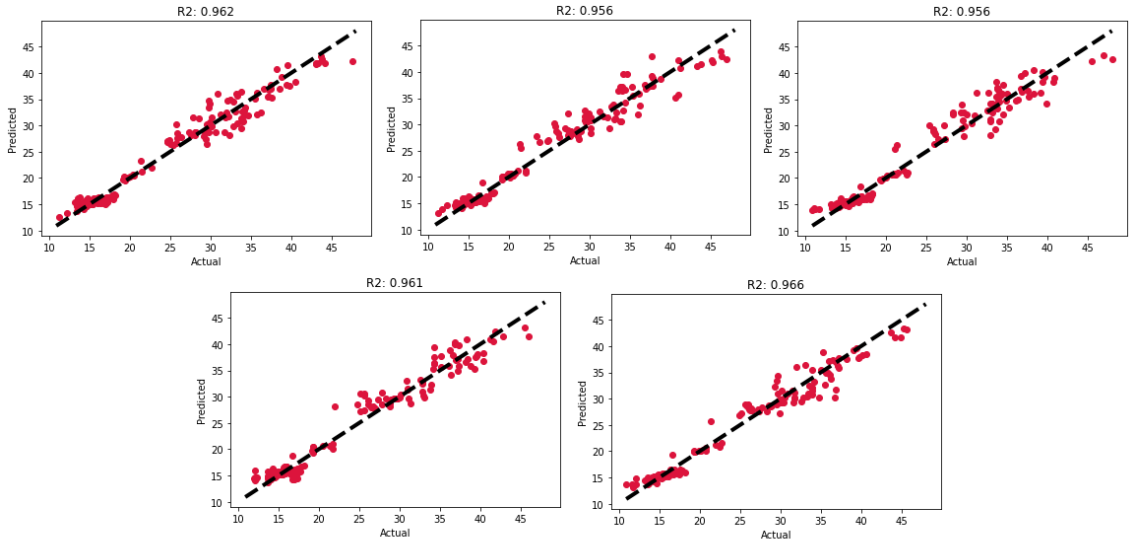
Algoritma	MSE	MAPE	MAE	R-Kare
Lineer Regresyon	8,654	0,099	2,09	0,914
KNN Regresyon (k=3)	4,882	0,092	1,717	0,952
KNN Regresyon (k=5)	**4,301**	**0,084**	**1,529**	**0,958**
KNN Regresyon (k=7)	5,553	0,096	1,792	0,945
KNN Regresyon (k=9)	6,734	0,108	2,003	0,934
KNN Regresyon (k=11)	6,94	0,109	2,009	0,932



Şekil 3. *Isıtma yükü sınıf değeri için k=5 değeri ile 5 çapraz doğrulama tahmin hatalarının şekilsel görünümü*

Tablo 3. *Soğutma yükü sınıf değeri için deneysel çalışma sonuçları*

Algoritma	**MSE**	**MAPE**	**MAE**	**R-Kare**
Lineer Regresyon	10,259	0,089	2,253	0,886
KNN Regresyon (k=3)	3,836	0,064	1,514	0,957
KNN Regresyon (k=5)	**3,569**	**0,06**	**1,426**	**0,96**
KNN Regresyon (k=7)	4,721	0,069	1,642	0,948
KNN Regresyon (k=9)	5,488	0,075	1,801	0,939
KNN Regresyon (k=11)	5,776	0,077	1,843	0,936



Şekil 4. *Soğutma yükü sınıf değeri için k=5 değeri ile 5 çapraz doğrulama tahmin hatalarının şekilsel görünümü*

Deneysel sonuçlar incelendiği zaman hem ısıtma yükü hem de soğutma yükü tahminleri için en iyi performansı KNN algoritmasının k=5 değeri için gerçekleştirdiği görülmektedir. Isıtma yükü ve soğutma yükü sınıf değerleri için KNN algoritması sırasıyla 0.958 ve 0,96 olmak üzere çok yakın değerler elde etmiş ve tahminleme açısından başarılı bir performans sergilemiştir. Ayrıca enerji tahmini problemi için KNN algoritması ile lineer regresyon algoritması karşılaştırıldığında ısıtma yükü ve soğutma yükü sınıf değerleri için

KNN algoritmasının net bir şekilde daha başarılı olduğu gözlenmektedir. Gerçekleştirilen çalışmadan elde edilen KNN modelinin literatürdeki benzer çalışmaların KNN algoritması sonuçları ile performans karşılaştırılması aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.

Tablo 4. *Isıtma ve soğutma yükü sınıf değeri deneysel çalışma sonuçlarının literatür ile karşılaştırılması*

	Isıtma				Soğutma			
Çalışma	**MSE**	**RMSE**	**MAE**	**R-Kare**	**MSE**	**RMSE**	**MAE**	**R-Kare**
Bu çalışma	**4,301**	**0,084**	1,529	**0,958**	**3,569**	**1,889**	1,426	**0,96**
[16]	4,665	2,160	1,512	-	5,189	2,278	**1,313**	-
[18]	5,360	2,310	**1,460**	0,92	6,250	2,500	1,610	0,930

Yapılan çalışmada geliştirilen modelin sonuçları literatürde yapılan benzer çalışma sonuçları ile karşılaştırıldığında MSE, RMSE ve R-Kare değerlerinde performans olarak daha başarılı olduğu görülmektedir. Bunun gerçekleşmesinde hem veri önişlem aşamasında veri kümesine normalizasyon işleminin yapılması hem de KNN regresyon algoritmasının doğru parametreler ile çalıştırılması yer almaktadır.

SONUÇ (CONCLUSION)

İnsan yaşamının vazgeçilmez bir parçası olan enerjinin verimli kullanılması günümüzde üzerinde en çok çalışma yapılan güncel konulardandır [25]. Günümüzde binaların ısıtılması ve soğutulması için büyük miktarlarda enerji tüketilmektedir. Bir binanın ısıtma veya soğutma yükü, genellikle birim alana (metrekare) düsen ısıtma veya soğutma ihtiyacı olarak ifade edilir. Özellikle soğuk ve sıcak iklimlerde ısıtma ve soğutma yükleri çok önemli olup doğru bir şekilde hesaplanması, enerji tasarrufu ve maliyet azaltımı açısından büyük önem taşır. Bu çalışmada binaların ısıtma yükü ve soğutma yükü tahmini için denetimli makine öğrenmesi algoritmalarından KNN üzerine bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonunda k=5 değeri için KNN algoritması yaklaşık %96 oranında ısıtma ve soğutma yüklerini doğru tahmin etmiştir. Tahmin edilen bu değerler geliştirilen modelin gerçek dünya ortamında kullanılabilmesi için kabul edilebilir bir hata oranına sahiptir. Bundan sonraki çalışmalarda daha kapsamlı bir veri kullanılarak farklı makine öğrenmesi algoritmalarının veya algoritmaları hibrit kullanımlarının gerçekleştirilmesi önerilmektedir.

KAYNAKÇA (REFERENCES)

[1] C. Janiesch, P. Zschech, K. Heinrich, Machine learning and deep learning. *Electron Market.* 31 (2021), 685–695. doi:10.1007/s12525-021-00475-2

[2] D. van de Sande, , et al. Developing, implementing and governing artificial intelligence in medicine: a step-by-step approach to prevent an artificial intelligence winter, *BMJ Health & Care Informatics.* 29(1) (2022). doi:10.1080/13645706.2019.1575882

[3] H. Hozhabr Pour, et al. A machine learning framework for automated accident detection based on multimodal sensors in cars, *Sensors.* 22(10) (2022). doi:10.3390/s22103634

[4] I. Lauriola, A. Lavelli, F. Aiolli, An introduction to deep learning in natural language processing: Models, techniques, and tools. *Neurocomputing*. 470 (2022), 443-456. doi:10.1016/j.neucom.2021.05.103

[5] X. Liang, J.A. Batsis, Y. Zhu, T.M. Driesse, R.M. Roth, , D. Kotz, B. MacWhinney, Evaluating voice-assistant commands for dementia detection. *Computer Speech & Language*. 72 (2022). doi:10.1016/j.csl.2021.101297

[6] Y. Gong, Y. Otomo, H. Igarashi, Sensorless metal object detection for wireless power transfer using machine learning. *COMPEL-The international journal for computation and mathematics in electrical and electronic engineering*. 41(3) (2022), 807-823. doi:10.1108/COMPEL-03-2021-0069

[7] M. Bansal, A. Goyal, A. Choudhary, A comparative analysis of K-Nearest Neighbour, Genetic, Support Vector Machine, Decision Tree, and Long Short Term Memory algorithms in machine learning. *Decision Analytics Journal*. 3 (2022). doi:10.1016/j.dajour.2022.100071

[8] H. Dabiri, V. Farhangi, M.J. Moradi, M. Zadehmohamad, M. Karakouzian,. Applications of Decision Tree and Random Forest as Tree-Based Machine Learning Techniques for Analyzing the Ultimate Strain of Spliced and Non-Spliced Reinforcement Bars. *Applied Sciences*. 12(10) (2022). doi:10.3390/app12104851

[9] C. Bogdal, R. Schellenberg, O. Höpli, M. Bovens, M. Lory , Recognition of gasoline in fire debris using machine learning: Part I, application of random forest, gradient boosting, support vector machine, and naïve bayes. *Forensic Science International*. 331 (2022). doi:10.1016/j.forsciint.2021.111146

[10] A. Pektaş, O. İnan, Ağaç Tohum Algoritmasının Kümeleme Problemlerine Uygulanması, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi.* 4(1) (2022), 1-10.

[11] M. Karakoyun, A. Özkış, Transfer Fonksiyonları Kullanarak İkili Güve-Alev Optimizasyonu Algoritmalarının Geliştirilmesi ve Performanslarının Karşılaştırılması, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 3(2) (2021), 1-10.

[12] https://www.dunyaenerji.org.tr/wp-content/uploads/2019/11/21112019Sunum.pdf (erişim 28 Temmuz 2023).

[13] M. E. Yıldız, F. Beyhan, M.K. Uçar, Enerji verimli bina tasarımında kural tabanlı yöntem yardımıyla ısıtma ve soğutma yüklerinin tahminlemesi, *Online Journal of Art and Design*, 10(4) (2022).

[14] P. Canbay, H. Taş, Yapıların Isıtma ve Soğutma Yükünün Yapay Zeka ile Tahmini, *International Journal of Pure and Applied Sciences*. 8(2) (2022), 478-489. doi:10.29132/ijpas.1166227

[15] B. Jia, D. Hou, A. Kamal, I.G. Hassan, L. Wang, Developing machine-learning meta-models for high-rise residential district cooling in hot and humid climate. *Journal of Building Performance Simulation.* 15(4) (2022), 553-573. doi:10.1080/19401493.2021.2001573

[16] M. Peker, O. Özkaraca, , B. Kesimal, Enerji tasarruflu bina tasarımı için ısıtma ve soğutma yüklerini regresyon tabanlı makine öğrenmesi algoritmaları ile modelleme. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*. 10(4) (2017), 443-449. doi:10.17671/gazibtd.310154

[17] B. Dilber, A.F. Özdemir, Enerji Verimli Binaların Isıtma ve Soğutma Yüklerinin Düzenli Modeller ile Tahmin Edilmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*. 10(3) (2022), 1091-1106. doi:10.29130/dubited.939933

[18] D. Bayraktar, E. Bayraktar, Mevcut Binalarda Isı Yalıtımı Uygulamalarının Değerlendirilmesi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 7(1) (2016), 59-66.

[19] S. Shabani, S. Samadianfard, M. T. Sattari, A. Mosavi, S. Shamshirband,T. Kmet, A. R. Várkonyi-Kóczy, Modeling pan evaporation using Gaussian process regression K-nearest neighbors random forest and support vector machines; comparative analysis. *Atmosphere*. 11(1) (2020). doi:10.3390/atmos11010066

[20] G.A. Seber, A. J. Lee, Linear regression analysis John Wiley & Sons, 329, (2012).

[21] F. Pedregosa, G. Varoquaux, A. Gramfort, V. Michel, B. Thirion, O. Grisel, E. Duchesnay, Scikit-learn: Machine learning in Python. *The Journal of Machine Learning Research*. 12 (2022), 2825-2830.

[22] T. Hastie, R. Tibshirani, J. H. Friedman, Friedman, The elements of statistical learning: data mining, inference, and prediction, New York: springer, 2 (2009), doi:10.1007/978-0-387-21606-5

[23]https://docs.oracle.com/en/cloud/saas/planning-budgeting-cloud/pfusu/insights_metrics_MAPE.html (erişim 31 Mayıs 2023)

[24] https://www.kaggle.com/datasets/elikplim/eergy-efficiency-dataset (erişim 31 Mayıs 2023)

[25] S. Ata, M.E. Boyacıoğlu, R. Şahin, A. Kahraman, ORÇ ile Düşük Sıcaklıklı Isı Kaynaklarından Elektrik Üretilmesinde Islak ve Yeni Nesil Akışkanların Çevresel ve Termodinamik Performanslarının Karşılaştırılması. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi,* 2(1) (2021), 1-13.

NEÜ PRESS

Necmettin Erbakan Üniversitesi
Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi
Journal of Science and Engineering (NEJSE)
DOI: 10.47112/neufmbd.2023.11

Cilt: 5 Sayı:2 Yıl: 2023 | Araştırma Makelesi / Research Article | E-ISSN: 2667- 7989

Beta Regresyon Modelinde Yeni Bir Yanı Düzeltilmiş Tahmin Edicinin Performansı: Bir Monte Carlo Çalışması

Yasin ASAR [1]

[1] Necmettin Erbakan University, Faculty of Science, Department of Mathematics and Computer Sciences, Konya, Türkiye, yasar@erbakan.edu.tr *(Corresponding Author)*

Makale Bilgileri

Makale Geçmişi
Geliş: 07.06.2023
Kabul: 31.08.2023
Yayın: 31.12.2023

Anahtar Kelimeler:
Beta regresyon, çoklu bağlantı, yanı düzeltilmiş tahmin edici, maksimum olabilirlik

ÖZ

Beta regresyon modelinde regresyon parametrelerini elde etmek için birincil yaklaşım, maksimum olabilirlik tahmin tekniğinin kullanılmasıdır. Bununla birlikte, beta regresyon modelinde çoklu bağlantının maksimum olabilirlik tahmin edicisinin varyansı üzerinde negatif bir etkiye sahip olduğu, yani maksimum olabilirlik tahmin edicisinin varyansının şişirildiği kabul edilmektedir. Bu konuyu ele almak için, çoklu bağlantı sorununu çözmek için yeni bir yanı düzeltilmiş tahmin edici tanıtılmıştır. Bu yeni tahmin edicinin etkinliği, bir Monte Carlo simülasyon deneyi kullanılarak sayısal bir araştırma yoluyla değerlendirilmiştir. Sonuçlar, önerilen tahmin edicinin diğer rakip tahmin edicilere kıyasla hem hata kareler ortalaması hem de karesel yan değerleri bakımından önemli iyileştirmeler sağladığını göstermektedir.

Performance of A New Bias Corrected Estimator in Beta Regression Model: A Monte Carlo Study

Article Info

Article History
Received: 07.06.2023
Accepted: 31.08.2023
Published: 31.12.2023

Keywords:
Multicollinearity, bias-adjusted estimator, maximum likelihood

ABSTRACT

The primary approach for obtaining regression parameters in the beta regression model is the utilization of the maximum likelihood estimation technique. However, it is acknowledged that multicollinearity has a detrimental effect on the variance of the maximum likelihood estimator in the beta regression model, namely, the variance of the maximum likelihood estimator is inflated. To address this issue, a novel bias-adjusted estimator is introduced to tackle the problem of multicollinearity. The effectiveness of these new estimator is assessed through a numerical investigation using a Monte Carlo simulation experiment. The results indicate that the proposed estimators yield substantial improvements compared to other competing estimators in terms of both the mean squared error and squared bias values.

Atıf/Citation: Asar, Y. (2023). 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), 75-87. https://doi.org/10.47112/neufmbd.2023.11

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

INTRODUCTION

Regression analysis is used to model data such that the explanatory variables are used to explain the dependent or response variable. The type of regression model depends on the distribution of the response variable. The beta regression model was firstly proposed in [1] to model the proportions data in other words the response variable is restricted to the interval $(0,1)$ and its distribution is beta. As it is the case in generalized linear models, the mean of the response variable is related to several explanatory variables linearly via a link function.

The parameters of the beta regression model are generally obtained by the maximum likelihood estimation technique. Although, it is well known that the explanatory variables are assumed not to be linearly correlated, this is not the case in many real-life situations. This problem is known as the multicollinearity in the literature [2]. Multicollinear settings affect the performance of the maximum likelihood estimator (MLE) negatively. For example, the variance of MLE becomes inflated and therefore the inference may not be reliable.

To overcome this problem, many methods have been proposed in the linear regression model and most of these methods have been generalized to beta regression model. The well-known ridge estimator [3] was proposed for the beta regression model in [4] using a penalized likelihood approach and obtained in [2]. Another method is called Liu estimator [5] which is extended to the beta regression by [6]. Moreover, the Liu-type estimator [7] has been generalized to beta regression model by [8]. These methods are called biased estimators.

On the other hand, Ospina et al. [9] introduced the second order biases of maximum likelihood estimator and proposed bias-adjusted estimators based on them in beta regression. Simas et al. [10] proposed three bias corrected estimators such that one is based on an analytical method and the other two of them are based on bootstrap methods where they let the regression structure to be nonlinear and they also allow a regression model for the dispersion parameter. Ospina and Ferrari [11] proposed asymptotically unbiased estimators based on the second order bias of maximum likelihood estimators in the zero-or-one inflated beta regression models.

Moreover, Kadiyala [12] and Ohtani [13] proposed almost unbiased versions of ridge estimator using different methods. Although almost unbiased estimators are also biased estimators, they are expected to have less bias than their biased versions. Almost unbiased estimators are well studied in generalized linear models. We refer to the following papers: [14–17].

Although the Liu-type estimator [7] is a biased estimator, the bias or squared bias of this estimator has not been investigated in the literature. Therefore, the purpose of this study is to define a bias corrected or almost unbiased version of the Liu-type estimator in beta regression models and study its mean squared error (MSE) and squared bias (SB) properties and compare the performance of the new estimator to the ridge estimator and the Liu-type estimator by designing an extensive Monte Carlo simulation study. The advantage of using the new estimator is that it does not only overcome the collinearity problem but also reduces the bias of the Liu-type estimator in beta regression.

Thus, the organization of this paper is as follows: beta regression fundamentals are given briefly in the next section. The new proposed method which is called bias corrected beta Liu-type estimator or almost unbiased beta Liu-type estimator is introduced and its theoretical properties are derived afterwards. In Monte Carlo simulation section, a Monte Carlo simulation experiment is provided to compare the performances of the existing estimators to the new bias corrected beta Liu-type estimator. Finally, some conclusive remarks are stated in conclusion section.

BETA REGRESSION MODEL

To introduce the beta regression model, we assume that the dependent variable is beta distributed. Thus, the observations of the dependent variable $y_1, y_2, \dots, y_n$ are assumed to follow a beta distribution which has the following beta density function

$$f(y;\mu,\phi)=\frac{\Gamma(\phi)}{\Gamma(\mu\phi)\Gamma\big((1-\mu)\phi\big)}y^{\mu\phi-1}(1-y)^{(1-\mu)\phi-1} \tag{1}$$

where $0<y<1$, $E(y)=\mu$ and $\text{var}(y)=\frac{V(\mu)}{1+\phi}$ where $V(\mu)=\mu(1-\mu)$ and $\Gamma(.)$ is the gamma function. Here μ is the mean of the response and ϕ is called the precision parameter which directly affects the variance of y. Using this representation of beta distribution Ferrari and Cribari-Neto [1] proposed the following beta regression model by relating the mean of y_i with the linear predictors as

$$g(\mu_i)=\sum_{i=1}^{n}x_{ij}\beta_j=\boldsymbol{x}_i^T\boldsymbol{\beta}=\eta_i \tag{2}$$

where $\boldsymbol{\beta}=\big(\beta_1,\beta_2,\dots,\beta_p\big)^T$ is the vector of regression coefficients and $X=[\boldsymbol{x}_1^T,\dots,\boldsymbol{x}_n^T]$ is an $n\times p$ data matrix with p explanatory variables. The function $g(.)$ is called the link function similar to the generalized linear models. There are several possible candidates for the link function, however, we use the logit link function given as $g(\mu)=\log(\mu/(1-\mu))$. Using the logit link function, one can define

$$\mu_i=\frac{e^{\boldsymbol{x}_i^T\boldsymbol{\beta}}}{1+e^{\boldsymbol{x}_i^T\boldsymbol{\beta}}}. \tag{3}$$

Thus, the corresponding log-likelihood function of the beta regression model can be written as follows

$$\begin{aligned}\mathcal{L}(\boldsymbol{\beta})=\sum_{i=1}^{n}&\log\big(\Gamma(\phi)\big)-\log\big(\Gamma(\phi\mu_i)\big)-\log\Big(\Gamma\big(\phi(1-\mu_i)\big)\Big)+\phi(1-\mu_i)\log(y_i)\\&+\{\phi(1-\mu_i)-1\}\log(1-y_i).\end{aligned} \tag{4}$$

Since the log-likelihood function given above is nonlinear in $\boldsymbol{\beta}$, one should use an iterative algorithm to obtain the maximum likelihood estimator (MLE). One possible option is to use Fisher's scoring method. In order to do so, we need to obtain the score function and the Fisher's information matrix. The theoretical derivations of these functions are given in [1] in details. Therefore, we just provide the maximum likelihood estimator in matrix notation as follows

$$\widehat{\boldsymbol{\beta}}_{\text{MLE}}=\big(\mathbf{X}^{\mathbf{T}}\widehat{\mathbf{W}}\mathbf{X}\big)^{-1}\mathbf{X}^{\mathbf{T}}\widehat{\mathbf{W}}\hat{\boldsymbol{z}} \tag{5}$$

where $\widehat{\mathbf{W}}$ is the weight matrix whose diagonal elements are given by

$$w_i=\phi\{\psi'(\phi\mu_i)+\psi'\big(\phi(1-\mu_i)\big)\}\frac{1}{\big(g'(\mu_i)\big)^2}$$

and $\hat{\boldsymbol{z}}=\hat{\boldsymbol{\eta}}+\widehat{\mathbf{W}}^{-1}\widehat{\mathbf{T}}(\boldsymbol{y}^*-\hat{\boldsymbol{\mu}})$ is called the working response such that $y_i^*=\log(y_i/(1-y_i))$ and $\widehat{\mathbf{T}}$ is a diagonal matrix such that $\widehat{\mathbf{T}}=\text{diag}\big(1/g'(\mu_1),\dots,1/g'(\mu_n)\big)$ and $\hat{\eta}_i=\boldsymbol{x}_i^T\widehat{\boldsymbol{\beta}}_{\text{MLE}}$ which is called the linear predictor.

The theoretical properties of the estimators can be investigated using variance-covariance matrices and MSE functions. The asymptotic variance-covariance matrix of MLE is given by [18]

$$\text{Cov}\big(\widehat{\boldsymbol{\beta}}_{\text{MLE}}\big)=\frac{1}{\phi}\big(\mathbf{X}^{\mathbf{T}}\widehat{\mathbf{W}}\mathbf{X}\big)^{-1}. \tag{6}$$

Thus, the MSE function of MLE is obtained by taking the trace of $\text{Cov}\big(\widehat{\boldsymbol{\beta}}_{\text{MLE}}\big)$ as

$$\mathrm{MSE}(\widehat{\boldsymbol{\beta}}_{\mathrm{MLE}}) = \frac{1}{\phi}\sum_{j=1}^{p}\frac{1}{\lambda_j} \tag{7}$$

where $\lambda_1, \lambda_2, \ldots, \lambda_p$ are the eigenvalues of $\mathbf{X}^{\mathbf{T}}\widehat{\mathbf{W}}\mathbf{X}$. It is obvious from Equation (7) that if the matrix $\mathbf{X}^{\mathbf{T}}\widehat{\mathbf{W}}\mathbf{X}$ is ill conditioned then the variances of the estimators become inflated since the inverses of the eigenvalues of the matrix $\mathbf{X}^{\mathbf{T}}\widehat{\mathbf{W}}\mathbf{X}$ becomes close to zero and this situation results in a very large MSE values.

Due to the high variance of MLE, many biased estimators are defined to be used in the presence of ill-conditioned matrix of cross-products $\mathbf{X}^{\mathbf{T}}\widehat{\mathbf{W}}\mathbf{X}$. One of them is the beta-ridge estimator (RE) proposed and studied by [2,4,19]. RE is defined as

$$\widehat{\boldsymbol{\beta}}_{\mathrm{RE}} = \left(\mathbf{X}^{\mathbf{T}}\widehat{\mathbf{W}}\mathbf{X} + k\mathbf{I}\right)^{-1}\mathbf{X}^{\mathbf{T}}\widehat{\mathbf{W}}\hat{\mathbf{z}} \tag{8}$$

where $k > 0$ is the biasing ridge parameter. The MSE function of RE is a complicated function of the parameter k. One other estimator is the beta-Liu estimator (LE) introduced by [6] as follows

$$\widehat{\boldsymbol{\beta}}_{\mathrm{LE}} = \left(\mathbf{X}^{\mathbf{T}}\widehat{\mathbf{W}}\mathbf{X} + \mathbf{I}\right)^{-1}\left(\mathbf{X}^{\mathbf{T}}\widehat{\mathbf{W}}\mathbf{X} + d\mathbf{I}\right)\widehat{\boldsymbol{\beta}}_{\mathrm{MLE}} \tag{9}$$

where $0 < d < 1$ is the biasing Liu parameter. The advantage of using LE is that its MSE function is just a second-degree function of the parameter d.

Although RE and LE have both their unique advantages and disadvantages, Algamal and Abonazel [8] proposed the following beta-Liu-type estimator (LT) combining the advantages of both RE and LE

$$\widehat{\boldsymbol{\beta}}_{\mathrm{LT}} = \left(\mathbf{X}^{\mathbf{T}}\widehat{\mathbf{W}}\mathbf{X} + k\mathbf{I}\right)^{-1}\left(\mathbf{X}^{\mathbf{T}}\widehat{\mathbf{W}}\mathbf{X} - d\mathbf{I}\right)\widehat{\boldsymbol{\beta}}_{\mathrm{MLE}} \tag{10}$$

where $k > 0$ and $-\infty < d < \infty$. The bias vector, variance-covariance matrix and the MSE function or LT are given respectively by

$$\mathrm{bias}(\widehat{\boldsymbol{\beta}}_{\mathrm{LT}}) = -(k+d)\left(\mathbf{X}^{\mathbf{T}}\widehat{\mathbf{W}}\mathbf{X} + k\mathbf{I}\right)^{-1}\boldsymbol{\beta}, \tag{11}$$

$$\mathrm{Cov}(\widehat{\boldsymbol{\beta}}_{\mathrm{LT}}) = \frac{1}{\phi}\mathbf{C}_k^{-1}\mathbf{C}_d\mathbf{C}^{-1}\mathbf{C}_d\mathbf{C}_k^{-1}, \tag{12}$$

$$\mathrm{MSE}(\widehat{\boldsymbol{\beta}}_{\mathrm{LT}}) = \frac{1}{\phi}\sum_{j=1}^{p}\left\{\frac{(\lambda_j - d)^2}{\lambda_j(\lambda_j + k)^2} + \frac{(d+k)^2}{(\lambda_j + k)^2}\alpha_j^2\right\} \tag{13}$$

where $\mathbf{C}_k = \mathbf{X}^{\mathbf{T}}\widehat{\mathbf{W}}\mathbf{X} + k\mathbf{I}$, $\mathbf{C}_d = \mathbf{X}^{\mathbf{T}}\widehat{\mathbf{W}}\mathbf{X} - d\mathbf{I}$, $\mathbf{C} = \mathbf{X}^{\mathbf{T}}\widehat{\mathbf{W}}\mathbf{X}$, α_j is the jth element of $\boldsymbol{\alpha} = \mathbf{Q}\boldsymbol{\beta}$ where the matrix $\mathbf{Q}$ is composed of the normalized eigenvectors of $\mathbf{C}$ as its columns. Moreover, we have $\mathbf{Q}^{\mathbf{T}}\mathbf{X}^{\mathbf{T}}\widehat{\mathbf{W}}\mathbf{X}\mathbf{Q} = \boldsymbol{\Lambda} = \mathrm{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \ldots, \lambda_p)$.

It is clear from Equations (12-13) that LT is a biased estimator, and the aim of this study is to reduce this bias by applying the bias correction procedure introduced by Kadiyala [12] and Ohtani [13].

A NEW BIAS ADJUSTED LT ESTIMATOR

The estimator LT was proposed to have the advantages of both RE and LE. However, the squared bias properties of LT have not been studied so far. In this section, we propose an almost unbiased or bias corrected version of LT (AULT) so that it has even less squared bias than that of LT under certain scenarios. The following definition will be used to define AULT.

Definition 1: [20] Suppose $\widetilde{\boldsymbol{\beta}}$ is a biased estimator of parameter vector $\boldsymbol{\beta}$, and if the bias vector of $\widetilde{\boldsymbol{\beta}}$ is

given by $\text{bias}(\widetilde{\boldsymbol{\beta}}) = \text{E}(\widetilde{\boldsymbol{\beta}}) - \boldsymbol{\beta} = \mathbf{R}\boldsymbol{\beta}$, which shows that $\text{E}(\widetilde{\boldsymbol{\beta}} - \mathbf{R}\boldsymbol{\beta}) = \boldsymbol{\beta}$, then the estimator $\widetilde{\widetilde{\boldsymbol{\beta}}} = \widetilde{\boldsymbol{\beta}} - \mathbf{R}\widetilde{\boldsymbol{\beta}}$ is called the almost unbiased estimator based on the biased estimator $\widetilde{\boldsymbol{\beta}}$.

Now, using Definition 1, the almost unbiased beta LT estimator (AULT) can be defined as

$$\begin{aligned}\widehat{\boldsymbol{\beta}}_{\text{AULT}} &= \widehat{\boldsymbol{\beta}}_{\text{LT}} + (k+d)\left(\mathbf{X}^{\mathbf{T}}\widehat{\mathbf{W}}\mathbf{X} + k\mathbf{I}\right)^{-1}\widehat{\boldsymbol{\beta}}_{\text{LT}} \\ &= \left(\mathbf{I} - (k+d)^2\left(\mathbf{X}^{\mathbf{T}}\widehat{\mathbf{W}}\mathbf{X} + k\mathbf{I}\right)^{-2}\right)\widehat{\boldsymbol{\beta}}_{\text{MLE}}\end{aligned} \tag{14}$$

where $k > 0$ and $-\infty < d < \infty$. To study further the properties of AULT, we provide the bias vector, variance-covariance matrix and MSE function of AULT respectively as follows

$$\text{bias}(\widehat{\boldsymbol{\beta}}_{\text{AULT}}) = -(k+d)\left(\mathbf{X}^{\mathbf{T}}\widehat{\mathbf{W}}\mathbf{X} + k\mathbf{I}\right)^{-1}\boldsymbol{\beta}, \tag{15}$$

$$\text{Cov}(\widehat{\boldsymbol{\beta}}_{\text{AULT}}) = \frac{1}{\phi}\boldsymbol{\Psi}\mathbf{C}^{-1}\boldsymbol{\Psi}^{\mathbf{T}}, \tag{16}$$

$$\text{MSE}(\widehat{\boldsymbol{\beta}}_{\text{AULT}}) = \frac{1}{\phi}\sum_{j=1}^{p}\left\{\frac{(\lambda_j - d)^2(\lambda_j + d + 2k)^2}{\lambda_j(\lambda_j + k)^4} + \phi\frac{(d+k)^4}{(\lambda_j + k)^4}\alpha_j^2\right\} \tag{17}$$

where $\boldsymbol{\Psi} = \mathbf{I} - (k+d)^{\mathbf{2}}\mathbf{C}_k^{-2}$.

Estimation of the parameter d in AULT

Our aim in this subsection is to find an estimator of the parameter d for a given estimator of k. Thus, we start by minimizing the MSE of AULT with respect to d. The derivative of $\text{MSE}(\widehat{\boldsymbol{\beta}}_{\text{AULT}})$ is computed as

$$\frac{\partial\text{MSE}(\widehat{\boldsymbol{\beta}}_{\text{AULT}})}{\partial d} = \sum_{j=1}^{p}\frac{(d+k)}{\lambda_j(\lambda_j + k)^4}\left(-\varphi(\lambda_j - d)(\lambda_j + d + 2k) + (d+k)^2\lambda_j\alpha_j^2\right) \tag{18}$$

where $\varphi = 1/\phi$. Now, we want to equate Equation (18) to zero and solve for the parameter d. If we let $f(d) = -\varphi(\lambda_j - d)(\lambda_j + d + 2k) + (d+k)^2\lambda_j\alpha_j^2$ and find the roots of $f(d)$ which is a squared function d. Thus, we can rewrite $f(d)$ as

$$f(d) = d^2(\varphi + \lambda_j\alpha_j^2) + d(2k\varphi + 2k\lambda_j\alpha_j^2) + (-\varphi\lambda_j^2 - 2k\varphi\lambda_j + k^2\lambda_j\alpha_j^2). \tag{19}$$

The discriminant of $f(d)$ given in Equation (19) is obtained as $\Delta_j = 4\varphi(\varphi + \lambda_j\alpha_j^2)(\lambda_j + k)^2 > 0$. Thus Δ_j has two roots for each $j = 1,2,\dots,p$. One can obtain the roots as follows

$$d_{1j,2j} = -k \mp \frac{(\lambda_j + k)\sqrt{\varphi(\varphi + \lambda_j\alpha_j^2)}}{\varphi + \lambda_j\alpha_j^2} \tag{20}$$

Although it is possible to propose many estimators of the parameter d using $d_{1j,2j}$'s, we only propose the following estimator and use it in the Monte Carlo simulation study

$$d_{opt} = \text{median}\left(-k + \frac{(\lambda_j + k)\sqrt{\varphi(\varphi + \lambda_j \alpha_j^2)}}{\varphi + \lambda_j \alpha_j^2}\right). \tag{21}$$

MONTE CARLO SIMULATION STUDY

In this section, we present the details of the Monte Carlo simulation experiment, which is designed to compare the performances of MLE, RE, LT, and AULT. The dependent variable $\boldsymbol{y}$ is generated using the probability density function given in Equation (1) which is the beta density function such that $y_i \sim \text{Beta}(\phi\mu_i, \phi(1-\mu_i))$ where $\mu_i = e^{\boldsymbol{x}_i^T\boldsymbol{\beta}}/\left(1 + e^{\boldsymbol{x}_i^T\boldsymbol{\beta}}\right)$ such that the regression parameters are chosen to be the corresponding eigenvector of the maximum eigen value of the matrix $\mathbf{X}^\mathbf{T}\mathbf{X}$, so that $\sum_{j=1}^{p}\beta_j^2 = 1$ which is a very common restriction, see [8,17,18] and [21]. Moreover, following [8] the data matrix $\mathbf{X}$ is generated via

$$x_{ij} = (1-\rho^2)^{1/2} m_{ij} + \rho m_{i(p+1)} \tag{22}$$

where m_{ij}'s are independent random number standard normal distribution such that $i = 1, \ldots, n$ and $j = 1, \ldots, p$. In Equation (19), ρ controls the correlation between the predictors. The sample size n is taken to be 50, 100 and 200. ρ changes as $0.90, 0.95$ and 0.99. The number of predictors p are selected as $4, 8, 12$. Also, the precision parameter ϕ is chosen as 5 and 10.

To compare the simulation performances of the estimators, the following equations are respectively used to obtain the simulated MSE and square bias (SB) values for each estimator

$$\text{SMSE}(\widetilde{\boldsymbol{\beta}}) = \frac{1}{1000}\sum_{l=1}^{1000}(\widetilde{\boldsymbol{\beta}}_l - \boldsymbol{\beta})^{\text{T}}(\widetilde{\boldsymbol{\beta}}_l - \boldsymbol{\beta}) \tag{23}$$

$$\text{SB}(\widetilde{\boldsymbol{\beta}}) = \left(\overline{\widetilde{\boldsymbol{\beta}}} - \boldsymbol{\beta}\right)^{\text{T}}\left(\overline{\widetilde{\boldsymbol{\beta}}} - \boldsymbol{\beta}\right), \overline{\widetilde{\boldsymbol{\beta}}} = \frac{1}{1000}\sum_{l=1}^{1000}\widetilde{\boldsymbol{\beta}}_l \tag{24}$$

where $\widetilde{\boldsymbol{\beta}}_{\boldsymbol{l}}$ represents each estimator at the rth repetition of the simulation in the study. The number of replications in the simulation is taken as 1000 and only the dependent variable is generated for each repetition while the data matrix $\mathbf{X}$ is fixed.

We estimate the biasing parameters of each method using the best estimators of that method proposed by the related paper as follows:

- For RE, the parameter k is estimated by $\hat{k}_{RE} = \frac{\lambda_{\min}}{\hat{\phi}\hat{\alpha}_{\min}^2}$ [19]
- For LT, $\hat{k}_{\text{LT}} = \frac{1}{\hat{\phi}\sum_{j=1}^{p}\hat{\alpha}_j^2}$ and $\hat{d}_{\text{LT}} = \frac{\sum_{j=1}^{p}\left(\frac{1}{\hat{\phi}} - k\hat{\alpha}_j^2\right)/(\lambda_j + k)^2}{\sum_{j=1}^{p}\left(\frac{1}{\hat{\phi}} + \lambda_j\hat{\alpha}_j^2\right)/\lambda_j(\lambda_j + k)^2}$ [8]
- For AULT, $\hat{k}_{\text{AULT}} = \frac{1}{\hat{\phi}\sum_{j=1}^{p}\hat{\alpha}_j^2}$ and $\hat{d}_{\text{AULT}} = \text{median}\left(-\hat{k}_{\text{AULT}} + \frac{(\lambda_j + \hat{k}_{\text{AULT}})\sqrt{\hat{\varphi}\left(\hat{\varphi} + \lambda_j\hat{\alpha}_j^2\right)}}{\hat{\varphi} + \lambda_j\hat{\alpha}_j^2}\right)$

The results of the Monte Carlo simulation experiment are summarized in Tables 1-2 and Figures 1-4. In Tables 1-2, the squared biases of the estimators are provided. According to the tables, it is observed that the SB of AULT is the least in most of the situations considered. However, when the sample size is 50 and the number of variables is 12, SB of AULT becomes greater than SB of LT. An increase in the sample size affects the SBs

Table 1. *Squared bias values of the estimators when* $\phi = 5$ *for different values of* p *and* ρ

	ρ		0.90			0.95			0.99	
p	n	50	100	200	50	100	200	50	100	200
4	RE	0.0084	0.1257	0.1702	0.0318	0.0625	0.0769	0.0174	0.0426	0.0479
	LT	0.0075	0.0123	0.0184	0.0051	0.0117	0.0186	0.0072	0.0192	0.0264
	AULT	0.0025	0.0058	0.0113	0.0027	0.0078	0.0125	0.0052	0.0125	0.0161
8	RE	0.0404	0.0706	0.0833	0.0668	0.0760	0.0623	0.3170	0.3801	0.1453
	LT	0.0376	0.0469	0.0445	0.0515	0.0609	0.0526	0.1409	0.1801	0.0894
	AULT	0.0310	0.0556	0.0390	0.0399	0.0803	0.0480	0.0858	0.2219	0.0738
12	RE	0.1320	0.0666	0.0857	0.3023	0.0888	0.0909	5.3136	0.3680	0.3142
	LT	0.0961	0.0585	0.0667	0.1890	0.0750	0.0865	2.2530	0.1640	0.1719
	AULT	0.1533	0.0624	0.0590	0.3691	0.0858	0.0747	32.1480	0.2885	0.1120

Table 2. *Squared bias values of the estimators when* $\phi = 10$ *for different values of* p *and* ρ

	ρ		0.90			0.95			0.99	
p	n	50	100	200	50	100	200	50	100	200
4	RE	0.0038	0.1140	0.1599	0.0173	0.0422	0.0589	0.0173	0.0121	0.0264
	LT	0.0039	0.0051	0.0068	0.0014	0.0032	0.0055	0.0015	0.0031	0.0099
	AULT	0.0005	0.0009	0.0024	0.0003	0.0012	0.0027	0.0006	0.0020	0.0041
8	RE	0.0128	0.0366	0.0435	0.0208	0.0306	0.0252	0.1149	0.1589	0.0675
	LT	0.0121	0.0143	0.0149	0.0156	0.0209	0.0176	0.0587	0.0722	0.0353
	AULT	0.0095	0.0115	0.0111	0.0160	0.0266	0.0147	0.0503	0.1013	0.0261
12	RE	0.0500	0.0239	0.0365	0.1525	0.0343	0.0344	0.9578	0.1491	0.1360
	LT	0.0339	0.0195	0.0227	0.0865	0.0264	0.0307	0.4486	0.0648	0.0779
	AULT	0.1224	0.0223	0.0179	0.4596	0.0369	0.0238	2.3292	0.1094	0.0462

of the estimators negatively. Similarly, an increase in the degree of correlation ρ results in an increase in the SB values. Moreover, an increase in the number of explanatory variables causes an increase in the SB values as well.

According to the tables, one can conclude the followings:

- It is observed from figures that AULT has a best performance in almost all of the situations.
- The MLE becomes the worst estimator, in other words, it produces the highest MSE values in most of the cases, except for some of the cases when $p = 4$, in these cases RE becomes the worst.
- Increasing the sample size has a positive effect on the estimators generally meaning that the MSEs decrease.
- The MSE values increase if the number of explanatory variables increase.
- In general, if the degree of correlation is increased, the MSEs of the estimators are affected negatively.
- There is no monotonic behavior in the distributions of the performances of the estimators, i.e., in some situations RE has more variability than the others. However, AULT has more variability especially when the sample size is low, and the number of explanatory variables is high.
- It is observed that LT is more stable generally.

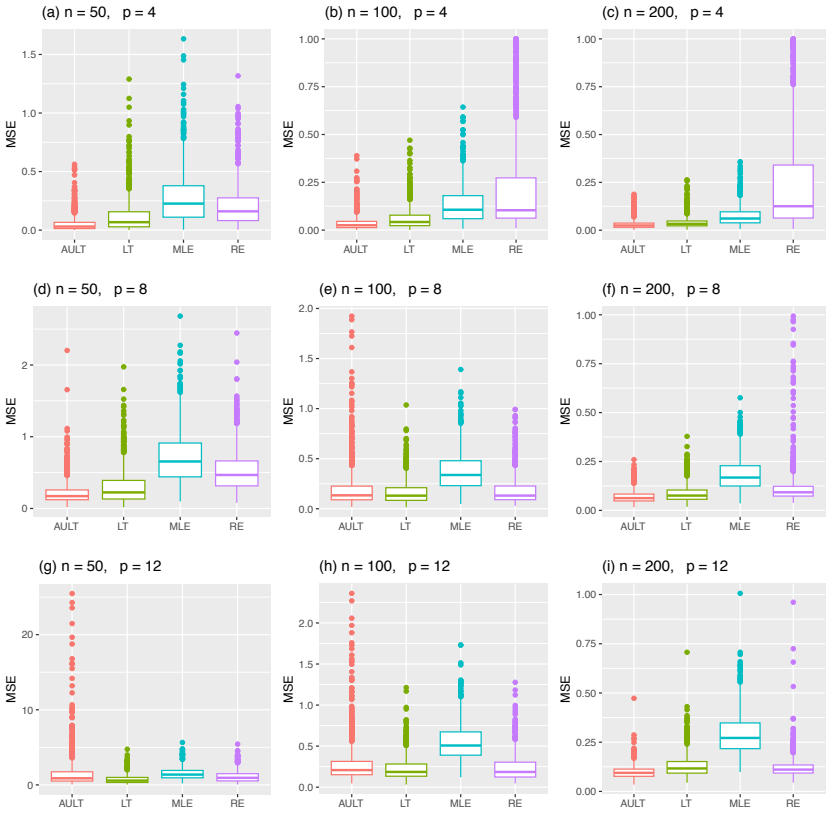


Figure 1. *Boxplots of the simulated MSE values of the estimators when* $\phi = 5$ *and* $\rho = 0.90$

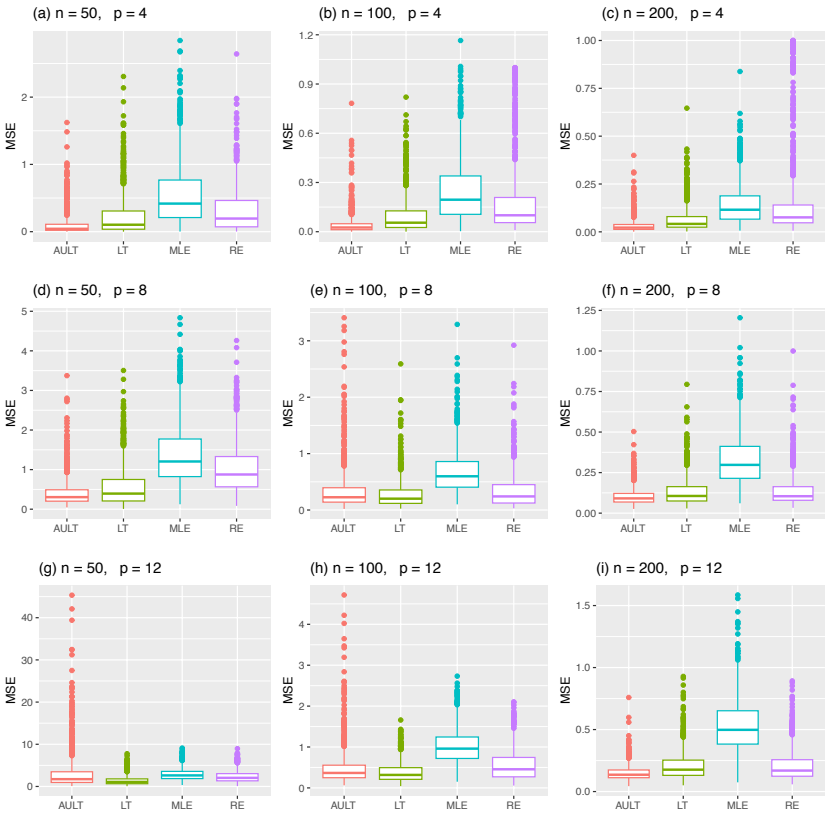


Figure 2. *Boxplots of the simulated MSE values of the estimators when* $\phi = 5$ *and* $\rho = 0.95$

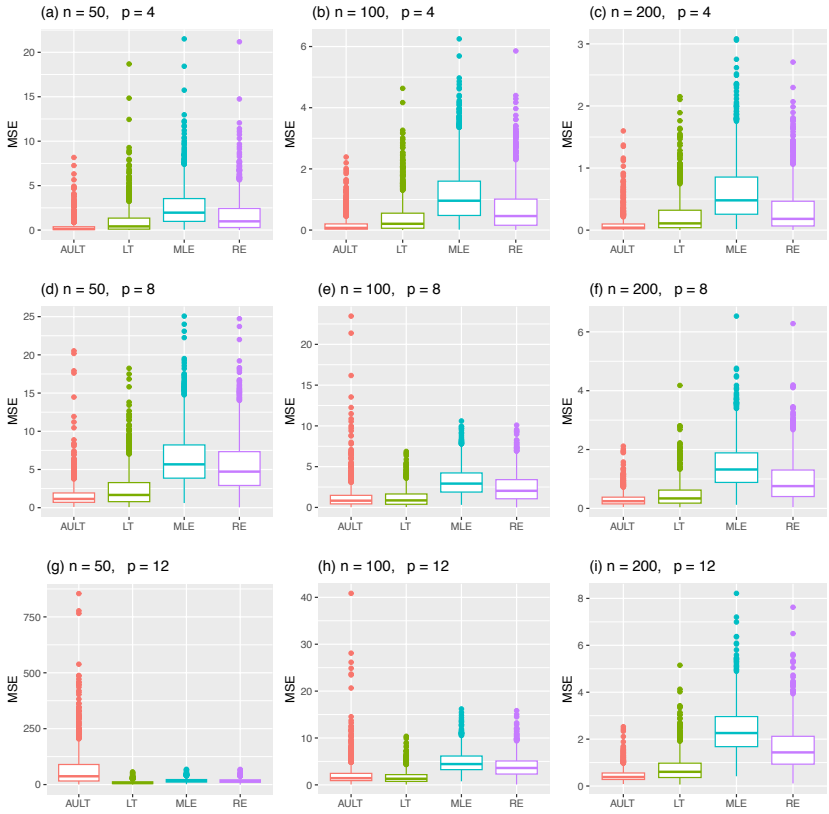


Figure 3. *Boxplots of the simulated MSE values of the estimators when* $\phi = 5$ *and* $\rho = 0.99$

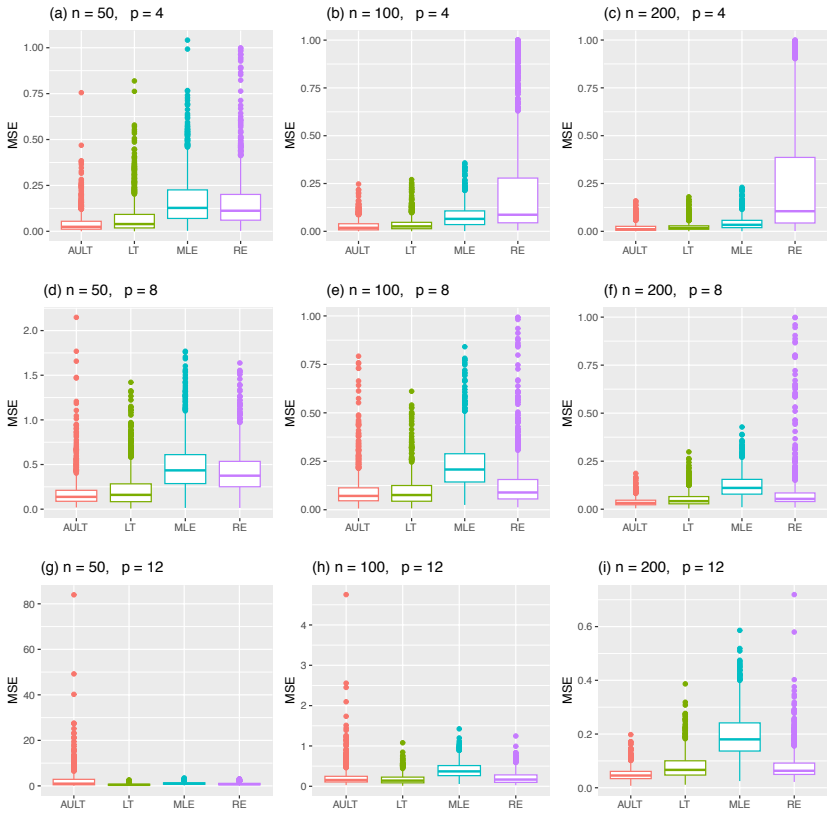


Figure 4. *Boxplots of the simulated MSE values of the estimators when* $\phi = 10$ *and* $\rho = 0.90$

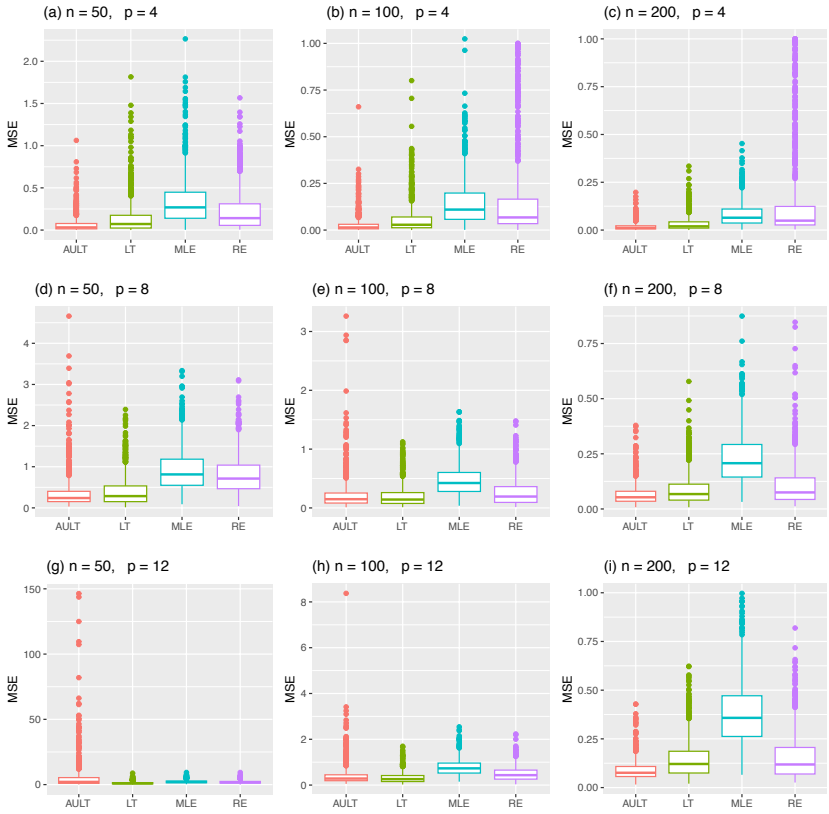


Figure 5. *Boxplots of the simulated MSE values of the estimators when* $\phi = 10$ *and* $\rho = 0.95$

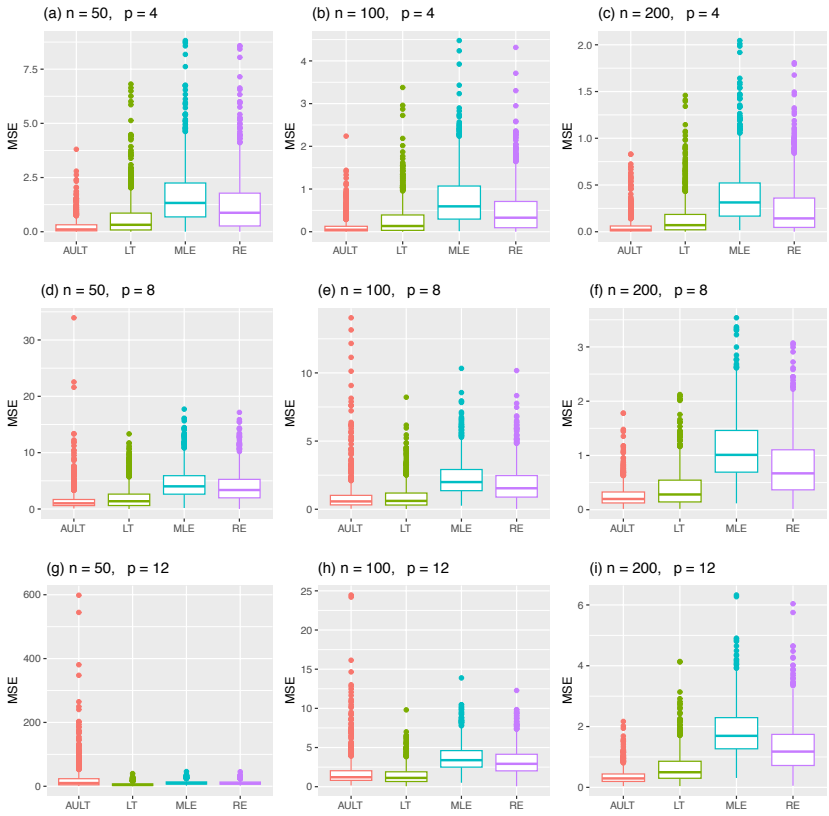


Figure 6. *Boxplots of the simulated MSE values of the estimators when* $\phi = 10$ *and* $\rho = 0.99$

CONCLUSIONS

In this paper, a new almost unbiased estimator based on the beta Liu-type estimator in the beta regression models is proposed. The MSE function, bias vector and variance-covariance matrix of the new estimator are derived. Since the new almost unbiased estimator has two parameters k and d, we also propose an estimator to estimate d to be used in the numerical studies. The squared bias performance of the beta Liu-type estimator is also studied. The new estimator AULT is compared to LT, RE and MLE by conducting an extensive Monte Carlo simulation using the mean squared error and squared bias criteria. According to the results of the simulation, AULT can be an alternative method to the existing estimators in the presence of ill-conditioned data metrices when beta regression is used by the researchers. For future work, it is possible to introduce a generalized version of AULT in terms of the generalized Liu-type estimator and study its performance numerically.

REFERENCES

[1] S.L.P. Ferrari, F. Cribari-Neto, Beta regression for modelling rates and proportions, *Journal of Applied Statistics*. 31 (2004) 799-815. doi:10.1080/0266476042000214501.

[2] M. Qasim, K. Månsson, B.M. Golam Kibria, On some beta ridge regression estimators: method, simulation and application, *Journal of Statistical Computation and Simulation*. 91 (2021) 1699-1712. doi:10.1080/00949655.2020.1867549.

[3] A.E. Hoerl, R.W. Kennard, Ridge Regression: Biased Estimation for Nonorthogonal Problems, *Technometrics*. 12 (1970) 55-67. doi:10.1080/00401706.1970.10488634.

[4] E.O. Ogundimu, G.S. Collins, Predictive performance of penalized beta regression model for continuous bounded outcomes, *Journal of Applied Statistics*. 45 (2018) 1030-1040. doi:10.1080/02664763.2017.1339024.

[5] K. Liu, A new class of blased estimate in linear regression, *Communications in Statistics - Theory and Methods*. 22 (1993) 393-402. doi:10.1080/03610929308831027.

[6] P. Karlsson, K. Månsson, B.M.G. Kibria, A Liu estimator for the beta regression model and its application to chemical data, *Journal of Chemometrics*. 34 (2020) e3300. doi:10.1002/cem.3300.

[7] K. Liu, Using Liu-Type Estimator to Combat Collinearity, *Communications in Statistics - Theory and Methods*. 32 (2003) 1009-1020. doi:10.1081/STA-120019959.

[8] Z. Yahya Algamal, Abonazel, Developing a Liu-type estimator in beta regression model, *Concurrency and Computation: Practice and Experience*. 34 (2022) e6685. doi:10.1002/CPE.6685.

[9] R. Ospina, F. Cribari-Neto, K.L.P. Vasconcellos, Improved point and interval estimation for a beta regression model, *Computational Statistics & Data Analysis*. 51 (2006) 960-981. doi:10.1016/j.csda.2005.10.002.

[10] A.B. Simas, W. Barreto-Souza, A. V Rocha, Improved estimators for a general class of beta regression models, *Computational Statistics and Data Analysis*. 54 (2010) 348-366. doi:10.1016/j.csda.2009.08.017.

[11] R. Ospina, S.L.P. Ferrari, On Bias Correction in a Class of Inflated Beta Regression Models, *International Journal of Statistics and Probability*. 1 (2012) p269. doi:10.5539/IJSP.V1N2P269.

[12] K. Kadiyala, A class of almost unbiased and efficient estimators of regression coefficients, *Economics Letters*. 16 (1984) 293-296. doi:10.1016/0165-1765(84)90178-2.

[13] K. Ohtani, On small sample properties of the almost unbiased generalized ridge estimator, *Communications in Statistics - Theory and Methods*. 15 (1986) 1571-1578. doi:10.1080/03610928608829203.

[14] Y. Asar, M. Korkmaz, Almost unbiased Liu-type estimators in gamma regression model, *Journal of Computational and Applied Mathematics*. 403 (2022) 113819. doi:10.1016/J.CAM.2021.113819.

[15] M. Amin, M. Qasim, A. Yasin, M. Amanullah, Almost unbiased ridge estimator in the gamma regression model, *Communications in Statistics - Simulation and Computation*. 51 (2022) 3830-3850. doi:10.1080/03610918.2020.1722837.

[16] M. Qasim, K. Månsson, M. Amin, B.M. Golam Kibria, P. Sjölander, Biased adjusted Poisson ridge estimators-method and application, *Iran. J. Sci. Technol. Trans. A Sci.* 44 (2020) 1775-1789. doi:10.1007/s40995-020-00974-5.

[17] M.I. Alheety, M. Qasim, K. Månsson, B.M.G. Kibria, Modified almost unbiased two-parameter estimator for the Poisson regression model with an application to accident data, *SORT*. 45 (2021) 121-142.

[18] A. Erkoç, E. Ertan, Z. Yahya Algamal, K. Ulaş Akay, The beta Liu-type estimator: simulation and

application, *Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics*. 52 (2023) 828-840. doi:10.15672/HUJMS.1145607.

[19] M.R. Abonazel, I.M. Taha, Beta ridge regression estimators: simulation and application, *Communications in Statistics - Simulation and Computation*. (2021) 1-13. doi:10.1080/03610918.2021.1960373.

[20] J. Xu, H. Yang, More on the Bias and Variance Comparisons of the Restricted Almost Unbiased Estimators, *Communications in Statistics - Theory and Methods*. 40 (2011) 4053-4064. doi:10.1080/03610926.2010.505693.

[21] M. Erişoğlu, N. Yaman, Ridge Tahminine Dayalı Kantil Regresyon Analizinde Yanlılık Parametresi Tahminlerinin Performanslarının Karşılaştırılması, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*. 1 (2019) 103-111.

Necmettin Erbakan Üniversitesi
Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi
Journal of Science and Engineering (NEJSE)
DOI: 10.47112/neufmbd.2023.12

Cilt: 5 Sayı:2 Yıl: 2023 | Araştırma Makelesi / Research Article | E-ISSN: 2667- 7989

İşaretler Aracılığıyla Harita Anlama Yeteneğini Artırma: Çocukların Bilişsel Gelişimine Dayalı Tematik Haritalar İçin İşaretler Geliştirme

Edmond JONUZI [1] **Hüseyin Zahit SELVİ** [2]

[1] Necmettin Erbakan University, Institute of Science, Department of Topographical Engineering, Konya, Türkiye, edmondjonuzi1@gmail.com *(Sorumlu Yazar/ Corresponding Author)*

[2] Necmettin Erbakan University, Faculty of Engineering, Department of Topographical Engineering, Konya, Türkiye, hzselvi@erbakan.edu.tr

Makale Bilgileri

Makale Geçmişi
Geliş: 27.06.2023
Kabul: 08.08.2023
Yayın: 31.12.2023

Anahtar Kelimeler:
Kartografik tasarım, Haritacılık eğitimi, İşaretler, Çocuk haritaları.

ÖZ

Çocuklara yönelik haritalar, işaretler ve atlaslar gibi malzemelerin derlenmesi ve tasarlanması titizlik dikkat ve yüksek düzeyde sorumluluk gerektiren bir süreçtir. Bu çaba içerisinde merkezi vurgu ve birincil endişe çocukların bilişsel gelişimi, eğitim seviyeleri, çeşitli coğrafi olguları algılama şekilleri ve düzeyleri, ikamet ettikleri bölgeleri kapsayan nesneler etrafında şekillenmelidir. Bu araştırma, Kuzey Makedonya Cumhuriyeti'nde ilkokul öğrencileri için özel olarak tasarlanmış olan "İlkokul Öğrencileri için Kuzey Makedonya Atlası" adlı bir atlasın derlenmesi ve tasarlanması amacıyla bir proje kapsamında yürütülmüştür. Bu proje çerçevesinde, 6 ila 10 yaş arasındaki öğrencilerin bilişsel ihtiyaçlarına ve gelişim aşamasına uygun işaretler titizlikle derlenmiş ve tasarlanmıştır. Dört farklı devlet ilkokulundan toplamda 567 öğrenci, tasarlanan işaretlerin algılanmasını ölçen bir teste tabi tutulmuştur. Testten elde edilen genel sonuçlar olumlu bir sonuç göstermektedir. Bununla birlikte, bazı işaretler öğrenciler tarafından yanlış yorumlanmış ve farklı isimlendirme standartları ortaya çıkmıştır. Bu nedenle, öğrenciler arasında düşük performans gösteren ve yetersiz yanıtlar alan işaretler değişikliklere ve geliştirmelere tabi tutulmuştur.

Enhancing Map Comprehension Via Symbols: Developing Symbols For Thematic Maps Based On Children's Cognitive Development

Article Info

Article History
Received: 27.06.2023
Accepted: 08.08.2023
Published: 31.12.2023

Keywords:
Cartographic design, Cartography education, Symbols, Children's maps.

ABSTRACT

The compilation and design of materials and products targeted towards children, such as maps, symbols, and atlases, necessitate meticulous attention and a high level of responsibility. The central emphasis and primary concern in this endeavor should revolve around the cognitive development of children, their educational level, their mode and level of perception of various geographical phenomena, and the objects that encompass the localities in which they reside. This research was undertaken as part of a project aimed at compiling and designing an atlas specifically tailored for primary school pupils in the Republic of North Macedonia, known as the "Atlas of North Macedonia for Primary School". Within the framework of this project, appropriate symbols have been meticulously compiled and designed to cater to the cognitive needs and developmental stage of pupils ranging from 6 to 10 years of age. A total of 567 pupils, aged between 6 and 10 years old, from four distinct municipal primary schools were included in the administration of the test designed for the symbols. The overall results derived from the test indicate a positive outcome. Nevertheless, certain symbols were erroneously interpreted by the pupils, resulting in varied and divergent naming conventions. For this purpose, the symbols that exhibited lower performance among pupils and those that elicited suboptimal responses have been subjected to modifications and enhancements.

Atıf/Citation: Jonuzi, E. & Selvi, H.Z. (2023). Enhancing map comprehension via symbols: developing symbols for thematic maps based on children's cognitive development, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*, *5*(2), 88-110. https://doi.org/10.47112/neufmbd.2023.12

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

INTRODUCTION

The field of cartography holds considerable significance in the education of children, as it provides them with a comprehensive understanding of the world and its complex dynamics. Central to the teaching of geography is the use of maps, which play a fundamental role in enabling pupils to comprehend the spatial relationships between different regions, cities, and physical-geographical features. Maps serve as potent visual tools for conveying spatial information, facilitating effective communication between users and geographic data. Within the realm of education, maps assume a prominent role in conveying geographical concepts and fostering spatial awareness among pupils. To facilitate the widespread use of maps throughout individuals' lives, it is imperative to develop and promote their utilization in the realm of education. Therefore, maps and atlases employed in educational settings should be designed in accordance with the educational system, the age of the children, and their level of comprehension. Numerous studies have indicated that changes in the reading and comprehension processes of children during childhood are largely influenced by Jean Piaget's theory of cognitive development [1-5]. Piaget directed his attention towards concepts encompassing graphic representation, the configuration of shapes, and the modeling of the universe, prioritizing these over the examination of children's interaction with maps [1, 2]. In the field of cartography, it is widely acknowledged that maps should adhere to certain criteria, namely being "correct, complete, appropriate, clear and distinct, readable and visually appealing" [5-8]. An authority in the field of children's map design emphasizes the importance of employing highly contrasting colors, pictorial images, and rich illustrations in order to create visually appealing and engaging maps for children. Such elements enhance the attractiveness and amusement value of children's maps [9-11]. The portrayal of cartographic information through color usage has been a subject of thorough exploration within the domain of cartographic scholarship. This area of study, constituting one of the most closely scrutinized facets of map design, has received substantial attention from scholars throughout history. Notable contributions have come from researchers such as Robinson (1952) [12], Jenks & Knos (1961) [13], Crawford (1971) [14], Kimerling (1980) [15], Olson (1981) [16], Imhof (1982) [17], MacEachren (1995) [18], Dent (1999) [19], and Brewer et al. (2003) [20]. Brewer, with an extensive repertoire of scholarly work that spans several publications, has made significant strides in the realm of color research. Brewer's research encompasses a wide array of topics, including the application of spectral color schemes, guidelines for utilizing diverging color schemes, the impact of simultaneous contrast on maps, strategies for color selection to assist individuals with color impairment, and a tool for selecting suitable colors for cartographic purposes. Brewer's noteworthy contributions include Brewer (1989) [21], Brewer (1992) [22], Brewer (1994) [23], Brewer (1996) [24], Brewer (1997a) [25], Brewer et al. (1997) [26], Brewer (1997b) [27], MacEachren et al. (1998) [28], Brewer (2003) [29], and Brewer et al. (2003) [20]. Another salient aspect in this context pertains to the utilization of colors in maps for children or even other materials like symbols, used as part of maps, and known as part of cartographic design for children. These kinds of purported distinctions have prompted numerous publishers and cartographers to produce maps specifically tailored for children, distinct from those intended for adults. The examination of color in maps has been a subject of extensive investigation in cartographic research, constituting one of the most extensively studied facets of map design [12-20]. Brewer's extensive body of work on color [20-29], encompasses a wide range of topics pertaining to color usage. These include the exploration of spectral color schemes, guidance on diverging color schemes, the impact of simultaneous contrast on maps, color selection strategies for aiding individuals with color vision deficiencies, and the development of tools for selecting appropriate colors for mapping purposes. In recent years, there has been significant progress in various atlas projects aimed at improving map resources tailored to different age groups, considering the evolving and revised curriculum [11]. Additionally, several educational atlas projects with diverse content have been conducted [30-33], along with thematic map activities under international initiatives [34]. Noteworthy studies by Gandy [35], Dough and Kay [36], and Kristien et al., [37] have examined high-quality maps and conducted map-related activities, highlighting the importance of designing maps based on pupils' abilities and emphasizing the significance of cartography education in effective map utilization. According to Şenol and Gökgöz, if children are given maps of the region during activities such as nature trips or city trips, it will be easier for them to both understand the maps and recognize the region they are in [38]. Elementary school pupils

readily comprehend the representation of small portions of the Earth on a two-dimensional plane due to their familiarity with such spatial abstraction. However, when confronted with the depiction of the Earth's spherical form onto a flat surface, such as a map displayed in the classroom, their understanding becomes challenged [39]. In their 2018 investigation, Şenol and Gökgöz discovered that children exhibit a nearly equivalent capacity to discern topological relationships both within their immediate living environments and in relation to two-dimensional/three-dimensional models (maps) [40]. Furthermore, concerning scale awareness, it can be inferred that primary school students typically operate at a broader, large-scale level [41]. In the study conducted by Ayuldeş and Akbaş with sixth-grade students, the objective was to cultivate direction-finding skills among students. Nevertheless, during the implementation, certain students encountered challenges when attempting to locate the designated target points. This difficulty may be attributed to the fact that these students were engaging in orienteering activities for the first time [42]. This standpoint is further substantiated by the students' suggestion to provide clues during the orienteering course. In a similar vein, Uzuner (2019) underscores that heightened orienteering experience among students leads to a more accurate identification of target points [43]. Cartography and cartographers bear significant responsibilities in designing maps that are specifically tailored to meet the needs of children, align with educational curricula, and align with children's cognitive development levels [44]. Much remains unexplored, inadequately deliberated, or only partially comprehended in the realm of children's atlases [45]. In a study conducted by Şahin et al., through analysis and testing it was emphasized that in general the development of children is influenced by four distinct factors, including here personal security, sharing of personal information, social media privacy, and parental control [46]. The Republic of North Macedonia encompasses a diverse array of cultural heritage sites spanning various historical epochs. The Republic of North Macedonia is home to a diverse range of cultural heritage sites from different historical periods. These cultural treasures hold significant importance in understanding the historical, cultural, and economic context of the region. The remnants from the Ottoman Empire are particularly valuable, contributing to the region's cultural heritage and serving as indicators of its tourism potential and economic development. Preserving and promoting these historical artifacts play a crucial role in showcasing the region's cultural wealth and attracting visitors. Additionally, there are notable remnants known as waqfs, established during the Ottoman period in various cities of North Macedonia, such as Skopje, Debar or Dibra, Dojran, Kumanovo, Bitola or Manastir, Ohrid, and Prilep [47]. Based on this evidence, North Macedonia is confidently advancing on the trajectory of development and progress, heading towards a promising future [48]. The historical artifacts from various historical periods that now serve as tourist attractions in contemporary times have been instrumental in the development of symbols, particularly those related to tourism and economic aspects.

This study is conducted as an integral component of the compilation and design process of an atlas intended for primary school pupils in North Macedonia. Within this framework, special attention has been given to the creation of specifically designed and curated maps, along with the compilation of representative symbols and population-related tables. This research mainly centers on symbols, including their creation, testing with pupils to evaluate understanding, analyzing test results, refining symbols based on pupils responses, and gathering relevant data and additional information about the symbols.

MATERIALS AND METHODS

Symbols were created and designed for an atlas aimed at primary school pupils in the Republic of North Macedonia. The symbols, along with the overall content of the atlas, were specifically tailored to align with the cognitive abilities, age group, and spatial thinking skills of primary school pupils. Extensive testing of the symbols designed for utilization in maps and atlases was conducted with primary school pupils to ensure their clarity and comprehensibility to the intended users.

Participants

A total of 567 primary school pupils, ranging from 6 to 10 years of age, participated in this test featuring the designed symbols for the Atlas. Among these participants, there were 132 pupils in the second grade, 139 pupils in the third grade, 161 pupils in the fourth grade, and 135 pupils in the fifth grade. In order to mitigate

the influence of socio-economic status and environmental factors on the participants, four comparable schools were chosen within the city of Tetovo, situated in the northwestern region of North Macedonia. Among the participating schools, three are located within the city limits, while one is situated in a village on the outskirts of the city. This selection was made to ensure a balanced representation of different contexts for the conducted testing. The selection of the age group for participation in the conducted testing as part of the atlas project is based on the cognitive development age groups proposed by Jean Piaget (ages 7 to 11 years). However, due to some pupils in North Macedonia being allowed to start school nearly a year earlier than the criteria for registration in the first grade, the lower age criterion has been adjusted, making it possible for second-grade pupils to participate in the test at the age of 6 years. Additionally, at the age of 11 in North Macedonia, some pupils are part of the class of the second cycle of primary schools, although a small number of them are briefly part of the last class of the first cycle of primary school.

Designed Symbols

The symbols featured in the atlas are meticulously crafted to reflect the distinctive identity of each city within the territory of the Republic of North Macedonia. These symbols serve as visual representations and identifiers for the cities and regions, both within the maps and throughout the atlas. Moreover, these symbols are also presented independently as figures. Each symbol is assigned a specific name that corresponds to the municipality, to the city or to the region it represents, thereby providing a clear reference to its intended destination. The purpose behind the design of these symbols for the atlas is to present the cities, municipalities, and regions of North Macedonia in a straightforward and easily recognizable manner. Each symbol incorporates visual elements that highlight the unique characteristics and landmarks associated with the respective locations.

The symbols utilized in the maps possess distinctive and precise characteristics. They have been specifically conceived and crafted for the purpose of the thematic maps and the atlas, serving as identical symbols across all maps and atlases. Prior to their creation, an in-depth analysis was conducted on the cities within the Republic of North Macedonia, considering factors such as cultural heritage, tourism, economy, history, and more. Every symbol in the atlas portrays a unique aspect of North Macedonia. Subsequently, the key features specific to each city were identified in alignment with the aforementioned aspects. This information was then employed to develop, create, and design unique symbols exclusively for the cities. The symbols were crafted utilizing software programs such as CorelDRAW and Illustrator in collaboration with a graphic designer. It is important to note that all symbols are entirely novel and have not been employed in any previous works, including other maps or atlases. Each symbol is designated with a name that corresponds to the city or region it represents or symbolizes. The design of the symbols prioritizes vibrant colors, distinct outlines, and simple shapes to ensure their easy recognition and comprehension among pupils aged 6 to 10. Additionally, a legend accompanies the symbols, providing explanations regarding their name, meaning, and significance. This facilitates young learners' understanding of the symbols depicted in the maps. The creation and design process adhered to specific criteria to preserve the authenticity and identity of the objects presented through the symbols, as well as the cities or regions they represent and identify. Furthermore, the symbols maintain consistency across all thematic maps, fostering a sense of familiarity among pupils. This enables them to establish connections between different aspects of North Macedonia as they acquire knowledge about the country. Overall, the carefully crafted symbols serve as a visual aid that enhances young learners' comprehension and appreciation of North Macedonia's diverse characteristics.

During the assessment and examination of social science textbooks for primary schools encompassing grades two to five, illustrations were identified that were employed to depict economic, tourism, and related activities. These illustrations were duly acknowledged and regarded as templates for the development of symbols intended for utilization in the thematic maps featured in the atlas. As an illustration, in the fourth-grade textbooks [49], there is a depiction of a skiing center. Drawing upon the elements utilized in the illustration presented in the fourth-grade textbook (left), a corresponding symbol for the atlas (right) was fashioned employing similar components (Figure 1).

During the educational sessions focused on acquainting pupils with the environment in which they reside,

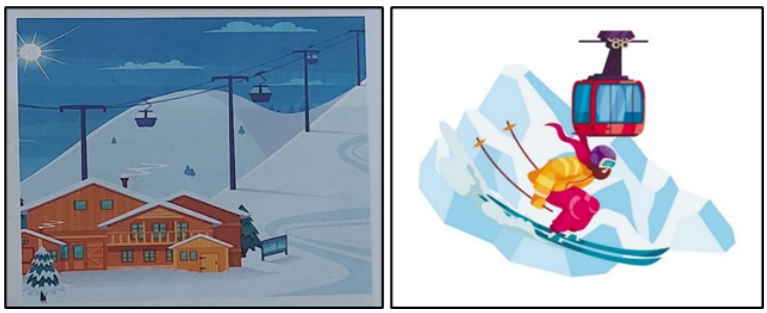


Figure 1. *Presentation of the skiing center in the fourth-grade primary school book* [49] *– left side and the Ski Center symbol designed for the Atlas – right side.*

they encounter images depicting fruits, vegetables, and grains that are predominantly cultivated within the borders of the Republic of North Macedonia. These images are examined in relation to the specific regions or territories within the country where they are cultivated. For instance, in Figure 2, images of Sunflower, Wheat, Sugar Beet or Red Turnip, and Apple are showcased. Utilizing these images as a foundation, representative symbols representing fruits, vegetables, and grains were devised, intended for application in thematic maps and atlases. Through these instructional sessions and visual presentations, it is argued that pupils acquire a deeper understanding of the economic significance associated with the cultivation of authentic products within the territory of North Macedonia.



Figure 2. *Presentation of fruits, vegetables and grains grown and cultivated in the Republic of North Macedonia in the fourth-grade primary school book* [49]*, and the designed symbols of Sunflower, Wheat, Sugar Beet (Red turnip), and Apple used in Atlas.*

The curriculum for fourth-grade books includes lessons on the physical and geographic features of the land, as well as the natural resources it possesses. This curriculum also covers the topic of national parks, emphasizing the importance of their preservation and conservation to enhance awareness and consciousness among pupils. As part of the instructional material, images depicting various national parks in the Republic of North Macedonia are presented. These serve as examples for the creation of a symbol representing National Parks, specifically designed for integration into the atlas (Figure 3).

With this perspective in mind, all symbols utilized in the thematic maps and atlas were conceived and developed, taking into consideration the level of perception and cognitive development of the pupils. The examples provided served as a foundation for the creation and design of these symbols, ensuring their suitability for effective comprehension by the intended audience. A total of 67 symbols were designed for the tourism and economy maps included in the Atlas, with the assistance of a professional graphic designer. Figure 4 depicts a section of the test utilized for the purpose of this evaluation.



Figure 3. *Presentation of the national parks of the Republic of North Macedonia in the book of the fourth-grades* [49] *– left side and the designed Symbol of the National Park for use in the Atlas – right side.*

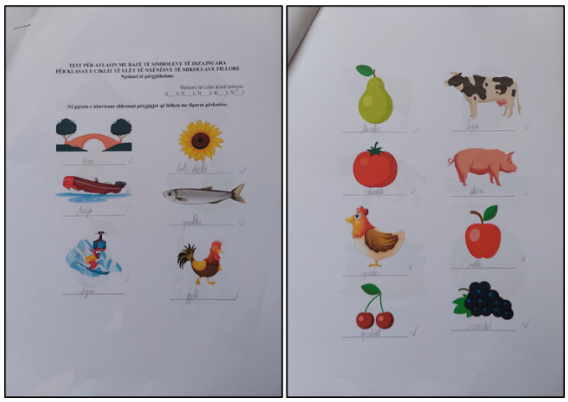


Figure 4. *Test taken by pupils, based on Symbols designed.*

RESULTS

Test based on symbol designed

A comprehensive examination was conducted involving 132 primary school pupils from the 2nd grade, specifically encompassing children aged 6 and 7 years. These pupils participated in a test that assessed their familiarity with the symbols devised for the Atlas. It is important to underscore that the percentages depicted in the table below are derived from the accurate and affirmative responses provided by the pupils. The ensuing table exhibits the outcomes acquired from the test, as follows:

Table 1. *Symbol based test for the 2nd grade primary school pupils, and the success percentages*

Questions	Success Percentages (%)
The Stone Bridge	95.45 %
Boat	94.70 %
Ski Center	91.67 %
Sunflower	86.36 %
Trout Fish of Ohrid	98.48 %
Rooster	91.67 %
National Park	84.09 %
Corn	90.91 %
Plum	81.06 %
Watermelon	94.70 %
Tobacco	18.18 %
Castle	56.06 %
Sharri Dog	90.91 %
Rice	93.18 %
The Clock Tower	77.27 %
Mosque	90.91 %
Church	80.30 %
Ice Cream	93.94 %

Pear	88.64 %
Tomato	93.94 %
Chicken	87.12 %
Cherry	88.64 %
Cow	92.42 %
Pig	85.61 %
Apple	93.18 %
Grape	90.15 %
Sheep	84.85 %
Balkan Lynx	0.76 %
Camping / Picnic	74.24 %
Cable Car / Telepher	69.70 %
Swimming / Summer Holiday	78.79 %
Cabbage	69.70 %
Swan	81.06 %
Potato	81.06 %
Sugar-Beet / Red Turnip	46.97 %
Monastery of Saint Naum – Ohrid	12.88 %
Matka Canyon	20.45 %
Wheat	53.03 %
Monastery of Saing George – Kumanovo	3.03 %
The Ancient City of Stobi	7.58 %
Archaeological Site Heraklea – Manastir / Bitola	5.30 %
Ishak Mosque – Manastir / Bitola	3.03 %
Kratovo Ottoman Tower – Kratovo	0.76 %
Painted Mosques / Pasha Mosque – Tetovo	84.85 %
Wooden Boat	79.55 %
Natural Themal Baths	37.12 %
Wine of Tikvesh	47.73 %
Wooden Bridge – Struga	18.94 %
Stone Bridge – Skopje	18.94 %
The Roman Aqueduct – Skopje	3.79 %
Pepper	78.03 %
Charshi (Baazar) Mosque – Prilep	8.33 %
Church of St. Cyril and Methodius – Prilep	9.85 %
St. Pantelejomon Church – Veles	9.85 %
Church of the Ascension of Jesus – Gevgelia	7.58 %
St. Nikola Church – Shtip	7.58 %
Makedonium Monument – Krushevo	18.94 %
St.George Church – Resen	8.33 %
Monsatery of St. Jovan Bigorski – Debar	9.09 %
The Alphabet Museum of the Albanian Language – Manastir / Bitola	76.52 %
Monastery of Joakim Osogovski – Kriva Palanka	6.82 %
St. George Orthodox Church – Kochan	5.30 %
Statue of Skanderbeg – Debar	78.79 %
Monastery of St. Bogorodica Prechishta – Kichevo	8.33 %
Traditional Albanian Clothes – Kichevo	64.39 %
Mustafa Pasha Mosque – Skopje	58.33 %
New Yugoslavia Square – Kumanovo's Main Square	8.33 %

Based on the results obtained from the second-grade pupils, it can be concluded that the symbols depicting the Balkan Lynx and the Kratovo Ottoman Tower are the least favored, as they received a response rate of only 0.76% each. On the other hand, the symbols that garnered the highest popularity among the pupils are the Trout fish of Ohrid symbol, with an overwhelming percentage of 98.48%, closely followed by the Stone Bridge symbol, which received a response rate of 95.45%.

A comprehensive examination was conducted involving 139 primary school pupils from the 3rd grade, specifically encompassing children aged 7 and 8 years. These pupils participated in a test that assessed their familiarity with the symbols devised for the Atlas. It is important to underscore that the percentages depicted in the table below are derived from the accurate and affirmative responses provided by the pupils. The ensuing table exhibits the outcomes acquired from the test, as follows:

Table 2. *Symbol based test for the 3rd grade primary school pupils, and the success percentages*

Questions	Success Percentages %
The Stone Bridge	97.84 %
Boat	94.24 %
Ski Center	92.81 %
Sunflower	93.53 %
Trout Fish of Ohrid	98.56 %
Rooster	93.53 %
National Park	97.12 %
Corn	97.12 %
Plum	86.33 %
Watermelon	98.56 %
Tobacco	73.38 %
Castle	73.38 %
Sharri Dog	98.56 %
Rice	93.53 %
The Clock Tower	85.61 %
Mosque	85.61 %
Church	73.38 %
Ice Cream	98.56 %
Pear	97.12 %
Tomato	95.32 %
Chicken	93.53 %
Cherry	95.32 %
Cow	94.24 %
Pig	94.24 %
Apple	94.24 %
Grape	93.53 %
Sheep	91.37 %
Balkan Lynx	5.04 %
Camping / Picnic	76.26 %
Cable Car / Telepher	85.61 %
Swimming / Summer Holiday	87.77 %
Cabbage	85.61 %
Swan	89.21 %
Potato	89.21 %
Sugar-Beet / Red Turnip	60.43 %
Monastery of Saint Naum – Ohrid	13.67 %
Matka Canyon	36.69 %
Wheat	93.53 %
Monastery of Saing George – Kumanovo	0.72 %
The Ancient City of Stobi	6.47 %
Archaeological Site Heraklea – Manastir / Bitola	5.04 %
Ishak Mosque – Manastir / Bitola	0.72 %
Kratovo Ottoman Tower – Kratovo	0.72 %
Painted Mosques / Pasha Mosque – Tetovo	88.49 %
Wooden Boat	76.26 %
Natural Themal Baths	35.97 %
Wine of Tikvesh	64.75 %
Wooden Bridge – Struga	26.62 %
Stone Bridge – Skopje	28.06 %
The Roman Aqueduct – Skopje	3.60 %
Pepper	76.26 %
Charshi (Baazar) Mosque – Prilep	13.67 %
Church of St. Cyril and Methodius – Prilep	12.23 %
St. Pantelejomon Church – Veles	13.67 %
Church of the Ascension of Jesus – Gevgelia	11.51 %
St. Nikola Church – Shtip	10.79 %
Makedonium Monument – Krushevo	21.58 %
St.George Church – Resen	12.23 %
Monsatery of St. Jovan Bigorski – Debar	20.86 %
The Alphabet Museum of the Albanian Language – Manastir / Bitola	89.93 %

Monastery of Joakim Osogovski – Kriva Palanka	10.79 %
St. George Orthodox Church – Kochan	10.07 %
Statue of Skanderbeg – Debar	78.42 %
Monastery of St. Bogorodica Prechishta – Kichevo	12.95 %
Traditional Albanian Clothes – Kichevo	79.14 %
Mustafa Pasha Mosque – Skopje	65.47 %
New Yugoslavia Square – Kumanovo's Main Square	12.95 %

Based on the results obtained from the third grade, it can be concluded that the symbols of Saint George's Monastery of Kumanovo, Ishak Mosque of Bitola, and Kratovo Ottoman Tower were the least recognized by the pupils, each receiving a recognition rate of 0.72%. Conversely, the symbols of the Trout Fish of Ohrid, Watermelon, and Ice cream were the most recognized symbols among the pupils, with a recognition rate of 98.56% for each symbol.

A comprehensive examination was conducted involving 161 primary school pupils from the 4th grade, specifically encompassing children aged 8 and 9 years. These pupils participated in a test that assessed their familiarity with the symbols devised for the Atlas. It is important to underscore that the percentages depicted in the table below are derived from the accurate and affirmative responses provided by the pupils. The ensuing table exhibits the outcomes acquired from the test, as follows:

Table 3. *Symbol based test for the 4th grade primary school pupils, and the success percentages*

Questions	**Success Percentages %**
The Stone Bridge	98.76 %
Boat	97.52 %
Ski Center	96.27 %
Sunflower	93.79 %
Trout Fish of Ohrid	98.76 %
Rooster	93.17 %
National Park	98.14 %
Corn	93.17 %
Plum	90.06 %
Watermelon	97.52 %
Tobacco	64.60 %
Castle	68.32 %
Sharri Dog	98.14 %
Rice	98.14 %
The Clock Tower	87.58 %
Mosque	95.65 %
Church	93.17 %
Ice Cream	96.89 %
Pear	95.03 %
Tomato	97.52 %
Chicken	94.41 %
Cherry	95.65 %
Cow	95.65 %
Pig	96.27 %
Apple	97.52 %
Grape	95.65 %
Sheep	92.55 %
Balkan Lynx	5.59 %
Camping / Picnic	91.93 %
Cable Car / Telepher	93.17 %
Swimming / Summer Holiday	95.03 %
Cabbage	88.82 %
Swan	91.30 %
Potato	88.82 %
Sugar-Beet / Red Turnip	86.34 %
Monastery of Saint Naum – Ohrid	41.61 %
Matka Canyon	47.20 %
Wheat	86.96 %

Monastery of Saing George – Kumanovo	1.24 %
The Ancient City of Stobi	9.94 %
Archaeological Site Heraklea – Manastir / Bitola	1.24 %
Ishak Mosque – Manastir / Bitola	1.24 %
Kratovo Ottoman Tower – Kratovo	1.24 %
Painted Mosques / Pasha Mosque – Tetovo	91.93 %
Wooden Boat	83.23 %
Natural Themal Baths	49.07 %
Wine of Tikvesh	88.82 %
Wooden Bridge – Struga	40.99 %
Stone Bridge – Skopje	64.60 %
The Roman Aqueduct – Skopje	4.97 %
Pepper	83.85 %
Charshi (Baazar) Mosque – Prilep	8.70 %
Church of St. Cyril and Methodius – Prilep	10.56 %
St. Pantelejomon Church – Veles	9.94 %
Church of the Ascension of Jesus – Gevgelia	9.94 %
St. Nikola Church – Shtip	9.94 %
Makedonium Monument – Krushevo	37.27 %
St.George Church – Resen	10.56 %
Monsatery of St. Jovan Bigorski – Debar	36.02 %
The Alphabet Museum of the Albanian Language – Manastir / Bitola	94.41 %
Monastery of Joakim Osogovski – Kriva Palanka	8.07 %
St. George Orthodox Church – Kochan	9.32 %
Statue of Skanderbeg – Debar	88.20 %
Monastery of St. Bogorodica Prechishta – Kichevo	8.07 %
Traditional Albanian Clothes – Kichevo	86.96 %
Mustafa Pasha Mosque – Skopje	67.70 %
New Yugoslavia Square – Kumanovo's Main Square	10.56 %

Based on the results obtained from the fourth grade, it can be observed that the symbols of the Monastery of Saint George of Kumanovo, Archaeological site Heraklea, Ishak Mosque of Bitola, and Kratovo Ottoman Tower were the least recognized by the pupils, each receiving a recognition rate of 1.24%. Conversely, the symbols of the Stone Bridge and the Trout Fish of Ohrid were the most recognized symbols among the pupils, with a recognition rate of 98.76% for each symbol.

A comprehensive examination was conducted involving 135 primary school pupils from the 5th grade, specifically encompassing children aged 9 and 10 years. These pupils participated in a test that assessed their familiarity with the symbols devised for the Atlas. It is important to underscore that the percentages depicted in the table below are derived from the accurate and affirmative responses provided by the pupils. The ensuing table exhibits the outcomes acquired from the test, as follows:

Table 4. *Symbol based test for the 5th grade primary school pupils, and the success percentages*

Questions	**Success Percentages %**
The Stone Bridge	98.52 %
Boat	98.52 %
Ski Center	97.78 %
Sunflower	99.26 %
Trout Fish of Ohrid	99.26 %
Rooster	96.30 %
National Park	99.26 %
Corn	97.78 %
Plum	96.30 %
Watermelon	96.77 %
Tobacco	74.81 %
Castle	86.67 %
Sharri Dog	97.04 %
Rice	100 %
The Clock Tower	85.93 %
Mosque	99.26 %
Church	100 %

Ice Cream	99.26 %
Pear	100 %
Tomato	99.26 %
Chicken	98.52 %
Cherry	99.26 %
Cow	100 %
Pig	100 %
Apple	99.26 %
Grape	98.52 %
Sheep	99.26 %
Balkan Lynx	17.04 %
Camping / Picnic	92.59 %
Cable Car / Telepher	96.30 %
Swimming / Summer Holiday	99.26 %
Cabbage	94.07 %
Swan	96.97 %
Potato	94.81 %
Sugar-Beet / Red Turnip	88.89 %
Monastery of Saint Naum – Ohrid	57.78 %
Matka Canyon	60.74 %
Wheat	91.85 %
Monastery of Saing George – Kumanovo	1.48 %
The Ancient City of Stobi	10.37 %
Archaeological Site Heraklea – Manastir / Bitola	9.63 %
Ishak Mosque – Manastir / Bitola	3.70 %
Kratovo Ottoman Tower – Kratovo	3.70 %
Painted Mosques / Pasha Mosque – Tetovo	94.81 %
Wooden Boat	91.85 %
Natural Themal Baths	56.30 %
Wine of Tikvesh	96.30 %
Wooden Bridge – Struga	59.26 %
Stone Bridge – Skopje	57.04 %
The Roman Aqueduct – Skopje	2.96 %
Pepper	98.52 %
Charshi (Baazar) Mosque – Prilep	11.85 %
Church of St. Cyril and Methodius – Prilep	12.59 %
St. Pantelejomon Church – Veles	14.81 %
Church of the Ascension of Jesus – Gevgelia	10.37 %
St. Nikola Church – Shtip	11.11 %
Makedonium Monument – Krushevo	52.59 %
St.George Church – Resen	14.07 %
Monsatery of St. Jovan Bigorski – Debar	42.22 %
The Alphabet Museum of the Albanian Language – Manastir / Bitola	97.78 %
Monastery of Joakim Osogovski – Kriva Palanka	11.85 %
St. George Orthodox Church – Kochan	12.59 %
Statue of Skanderbeg – Debar	95.56 %
Monastery of St. Bogorodica Prechishta – Kichevo	14.81 %
Traditional Albanian Clothes – Kichevo	89.89 %
Mustafa Pasha Mosque – Skopje	74.81 %
New Yugoslavia Square – Kumanovo's Main Square	14.81 %

Based on the results obtained from the fifth grade, it can be observed that the symbols of the St. Monastery George - Kumanovo and the Roman Aqueduct were the least recognized symbols among the pupils, with recognition rates of 1.48% and 2.96% respectively. Conversely, the symbols of Rice, Church, Pear, Cow, and Pig were the most recognized symbols among the pupils, each receiving a recognition rate of 100%.

Subsequently, we will delineate the disparities in responses, ranging from the least to the highest percentage of accuracy, across second to fifth-grade levels. This will be accomplished through a makeshift chart, which will feature the less familiar symbols, denoted by their corresponding percentages, juxtaposed with the more prominently recognized symbols among the pupils.

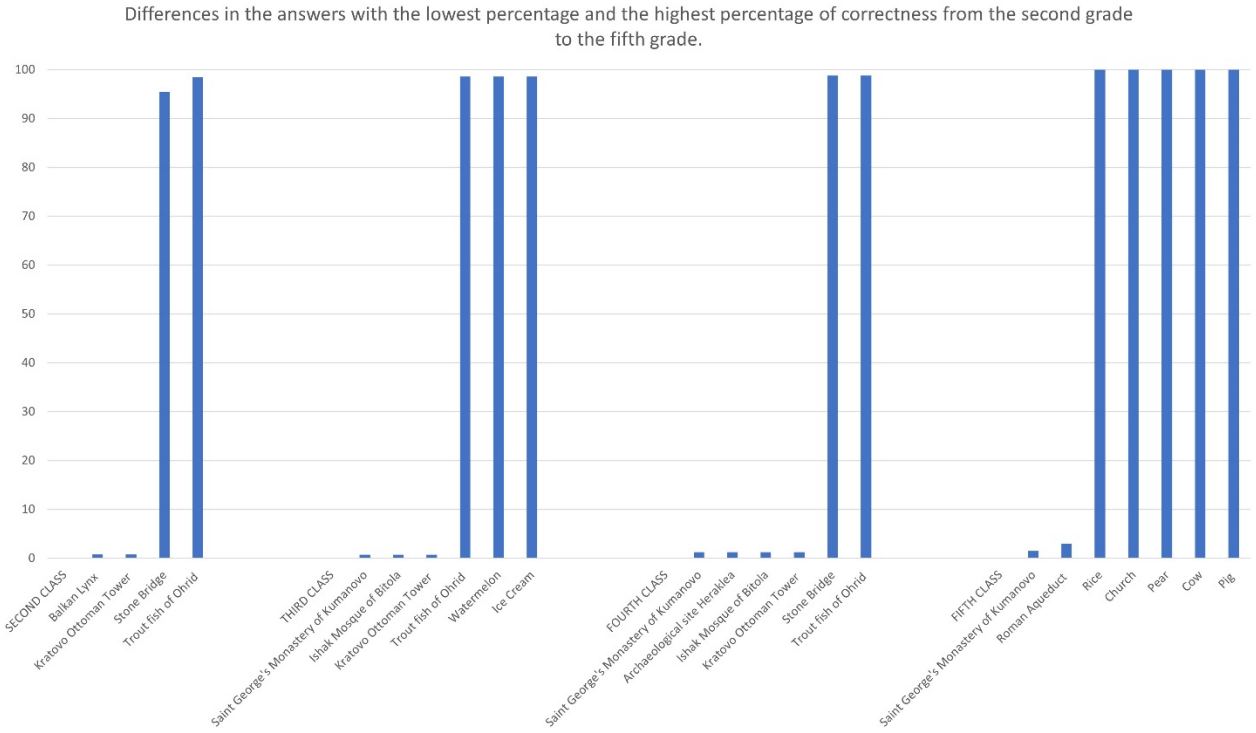


Figure 5. *Differences in the answers with the lowest percentage and the highest percentage of correctness from the second grade to the fifth grade represented with a chart.*

A total of 567 primary school pupils, ranging from 6 to 10 years of age, participated in this test featuring the designed symbols for the Atlas. Among these participants, there were 132 pupils in the second grade, 139 pupils in the third grade, 161 pupils in the fourth grade, and 135 pupils in the fifth grade. Following the completion of the test on symbols designed for primary school pupils, the resulting outcomes are presented in the following table and also in Figure 6:

Table 5. *Symbol based test for all pupils of primary school (from 2nd to 5th grade), and the success percentages*

Questions	Success Percentages %
The Results of the Second Classes	54.90 %
The Results of the Third Classes	61.10 %
The Results of the Fourth Classes	65.15 %
The Results of the Fifth Classes	69.77 %
The Results of all Classes Together / The Average	62.73 %

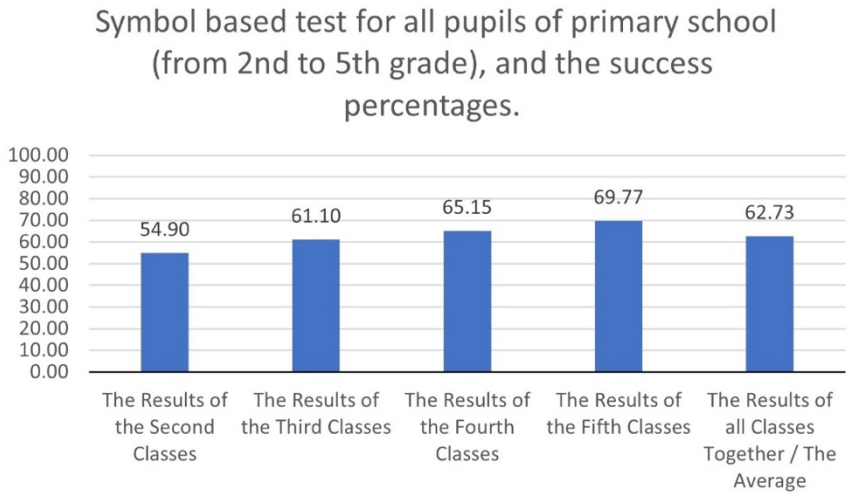


Figure 6. *The Symbol based test for all pupils of primary school (from 2nd to 5th grade), and the success*

percentages represented with a chart.

DISCUSSION

Improvement of symbols based on the results

Based on the analysis of the knowledge pertaining to the symbols designed for use in the atlas, it can be concluded that the pupils possess a general understanding of the symbols, particularly those representing common elements such as fruits, vegetables, and grains. However, there are instances where the symbols are misidentified, indicating a tendency to perceive them as similar symbols or even as something entirely different from their intended representation. For instance, a noteworthy example is the symbol of the Balkan Lynx, which is consistently perceived and described by most pupils across all grade levels as a Hyena.

In light of these findings, it is evident that the symbols specifically designed for the Economic and Touristic map of North Macedonia, which depict significant landmarks or objects representative of various cities, are relatively less familiar to the pupils. The pupils primarily recognize symbols corresponding to the cities or landmarks in their immediate vicinity, followed by symbols associated with cities in close proximity to their residences. Furthermore, they exhibit recognition of symbols or images related to cities they have visited, often through school excursions or family outings. Conversely, the pupils demonstrate a lack of identification when it comes to cities or countries they have not visited, as well as the respective symbols or representative images associated with them. Consequently, they express unfamiliarity with such symbols.

Based on the findings derived from the test assessing the designed symbols for the atlas, it is evident that certain symbols require enhancements to ensure their completeness and facilitate easier identification by the pupils. In the subsequent section, we will present these symbols alongside brief descriptions and images illustrating their initial form during the testing period and the subsequent improvements made. The presentation commences as follows:

The symbol representing Stone Bridge has undergone improvements based on the results of testing. In the initial evaluation, the symbol was frequently identified and labeled as a park or a forest. Furthermore, during the preliminary testing phase, the description and naming of the trees depicted in the symbol were also described. These enhancements have contributed to the refinement and accuracy of the symbol's representation (Figure 7).

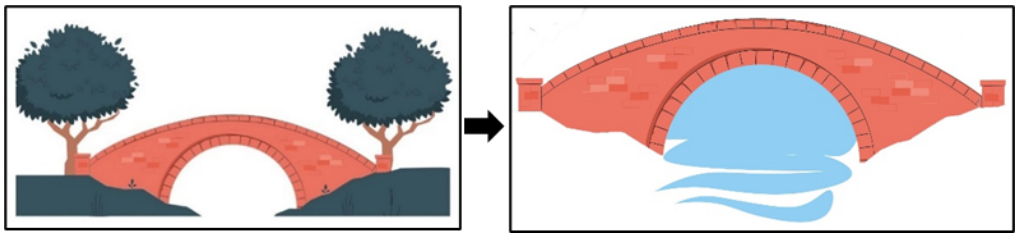


Figure 7. *The Stone Bridge symbol; left side – first version used in the test, and right side - improved version*

The Sunflower symbol has undergone improvements based on feedback received during testing. In the previous iteration, the symbol was described simply as a flower without specifying it as a sunflower. Consequently, adjustments were made to accurately depict and label the symbol as a sunflower, ensuring its proper representation (Figure 8).

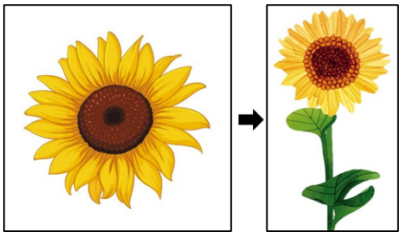


Figure 8. *The symbol of the Sunflower; left side-first version used in the test, and right side-improved version*

Based on the findings from the preliminary testing of the symbols, it was identified that the tobacco symbol required improvement. During the testing process, the symbol was often interpreted as leaves, straw, or other similar representations, indicating a lack of clarity or distinctiveness. Therefore, adjustments and enhancements are necessary to ensure that the tobacco symbol is more accurately recognized and differentiated from other visual elements (Figure 9).



Figure 9. *The Tobacco symbol; left side - first version used in the test, and right side - improved version*

The symbol representing a castle or fortress has undergone significant modifications due to its limited recognition and incorrect interpretations by the pupils. In many instances, the symbol was incorrectly described as a guesthouse or erroneously perceived as an abandoned and vacant structure. To address these issues, substantial changes have been made to enhance the clarity and accuracy of the castle symbol, ensuring that it is properly recognized and understood by the intended audience (Figure 10).

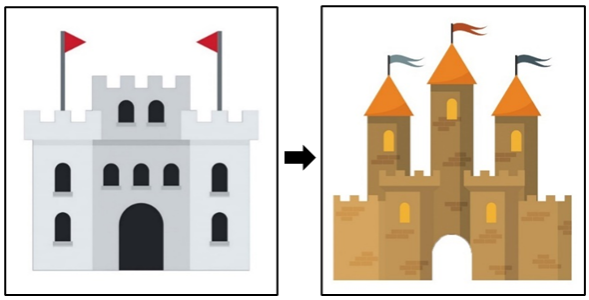


Figure 10. *The symbol of the Castle; left side - first version used in the test, and right side - improved version*

The symbol representing the Sharri Mountain Dog has undergone revisions and improvements. In the previous test, the symbol was simply identified as a dog without proper definition. To enhance its clarity and comprehension, a new design has been introduced. The revised symbol now features a panoramic image of a mountain along with a sheep, aiming to create a more understandable and explicit representation for children. These modifications have been implemented to ensure that the symbol effectively communicates its intended meaning to the target audience (Figure 11).

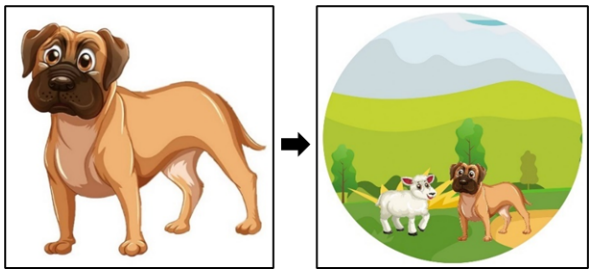


Figure 11. *The Sharr Mountain Dog symbol; left side - first version used in the test, and right side - improved version*

The symbol representing the Clock Tower has undergone a modification by removing the cross that was originally positioned at the top of the tower. This alteration was prompted by the perception of some pupils who

associated the symbol with a church or cathedral. Consequently, a decision has been made to conceal the cross element of the symbol. This adjustment aims to avoid potential confusion or misinterpretation among viewers and ensure a more accurate representation of the Clock Tower (Figure 12).

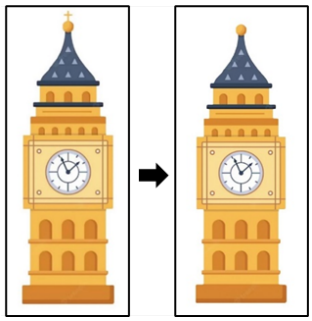


Figure 12. *The Clock Tower symbol; left side - first version used in the test, and right side - improved version.*

Based on the testing conducted, it was observed that the symbol representing the mosque was often mistaken for a mansion or a house, primarily due to the absence of minarets in the depiction. Consequently, a decision was made to enhance and replace the symbol to ensure its accurate representation. The revised symbol will incorporate the necessary elements, including minarets, to more effectively convey the intended depiction of a mosque. This adjustment aims to eliminate any potential confusion or misinterpretation associated with the previous symbol (Figure 13).

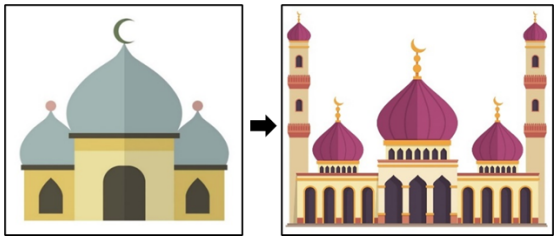


Figure 13. *The symbol of the Mosque; left side - first version used in the test, and right side - improved version.*

Based on the findings of the testing phase, it was observed that the symbol representing the Church was often misinterpreted as a house or even a hut, despite the inclusion of a cross above the depicted structure. The pupils' perception of the symbol did not align with its intended representation. Consequently, a decision was made to enhance and replace the symbol to ensure its accurate portrayal. The revised symbol will incorporate elements that more effectively convey the distinct architectural features and characteristics associated with a Church, aiming to eliminate any potential confusion or misinterpretation (Figure 14).

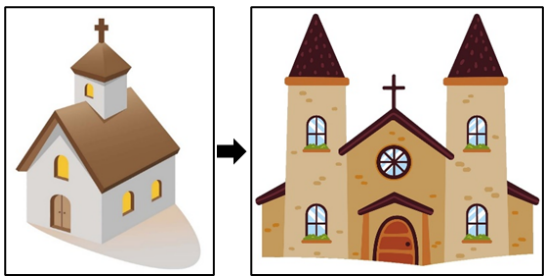


Figure 14. *The symbol of the Church; left side - first version used in the test, and right side - improved version.*

Based on the feedback received, the Chicken symbol is scheduled for improvement. In some instances, pupils have misinterpreted and described the symbol as a Rooster. To address this issue, the symbol will be

enhanced by incorporating small birds within the design. These modifications aim to provide greater clarity and ensure that the symbol is accurately recognized and distinguished as a Chicken by the pupils. Concrete measures have been taken to rectify the misunderstanding and improve the symbol's representation (Figure 15).

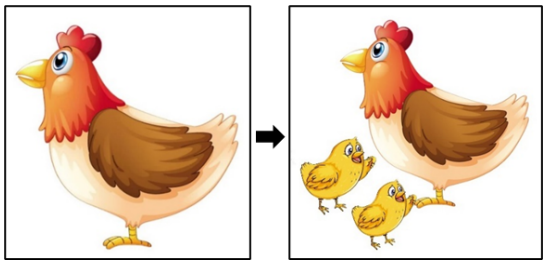


Figure 15. *The symbol of the Chicken; left side - first version used in the test, and right side - improved version.*

Based on the evaluations and descriptions provided by the pupils, it has been determined that the Balkan Lynx symbol requires improvement. In the preliminary test, a significant majority of pupils mistakenly identified and described the symbol as a hyena. To address this issue, the symbol has been completely redesigned and replaced with a new representation. The modifications aim to ensure that the symbol is accurately recognized and associated with the Balkan Lynx by the pupils (Figure 16).

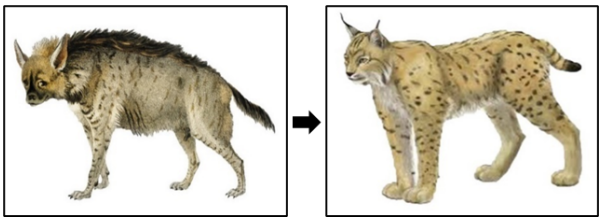


Figure 16. *The symbol of the Balkan Lynx; left side - first version used in the test, and right side - improved version.*

Based on the results of the conducted test, it was observed that the cable car symbol was occasionally identified as a helicopter, while in some cases, respondents left it blank. Consequently, it was determined that the symbol required improvement and modification. In the updated version, the figure now includes a backdrop depicting a cityscape comprising houses, buildings, and elements of the natural environment within the city. These enhancements aim to provide a clearer and more recognizable representation of the cable car symbol to the participants (Figure 17).

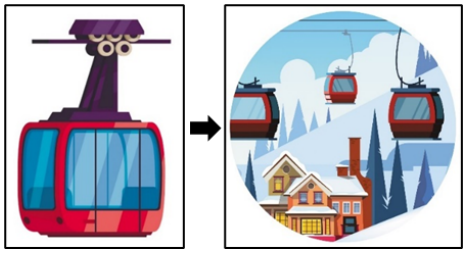


Figure 17. *Cable car (Telpher) symbol; left side - first version used in the test, and right side - improved version.*

Based on the perceptions and descriptions provided by the pupils who participated in the test, it was determined that the Cabbage symbol required improvement and modification. Some pupils identified and described it as a leaf, fir, or tree, indicating a lack of clarity in the symbol's representation. Consequently, a decision was made to create a new symbol that would address these concerns and provide a more accurate depiction of a cabbage (Figure 18).

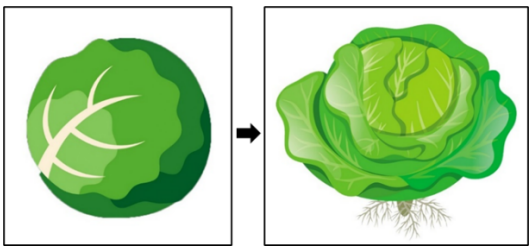


Figure 18. *Cabbage symbol; left side - first version used in the test, and right side - improved version.*

Based on the results obtained from the test conducted with the pupils, it was observed that the Potato symbol was frequently perceived and identified as a broom or sponge. This discrepancy indicated a need for improvement and modification of the symbol. Therefore, it was decided to create a new symbol that accurately represents a potato, addressing the issue of misinterpretation identified during the test (Figure 19).

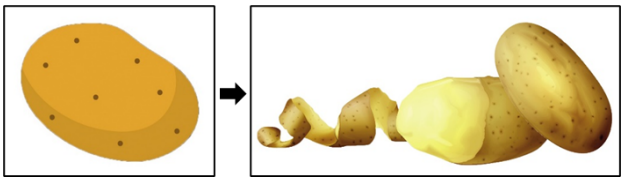


Figure 19. *Potato symbol; left side - first version used in the test, and right side - improved version.*

Based on the responses of the tested pupils, it was observed that the symbol of the red turnip or sugar beet was frequently misidentified as an onion or red onion, while some pupils referred to it as a carrot. These discrepancies in identification prompted the decision to modify and improve the symbol to ensure accurate representation (Figure 20).

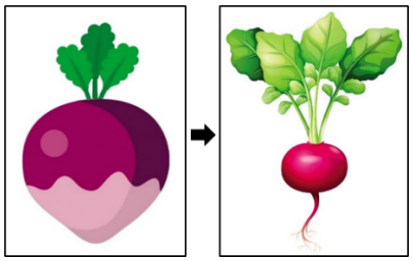


Figure 20. *Sugar Beet symbol (Red Turnip); left side - first version used in the test, and right side - improved version.*

The symbol representing Matka Canyon has undergone improvements and alterations based on the feedback received from pupils. It was observed that some pupils mistakenly identified the symbol as a ship port rather than recognizing it as Matka Canyon or the Canyon of Matka. To address this issue, the new symbol has been redesigned with more vibrant colors and a clearer depiction of the canyon's panorama (Figure 21).

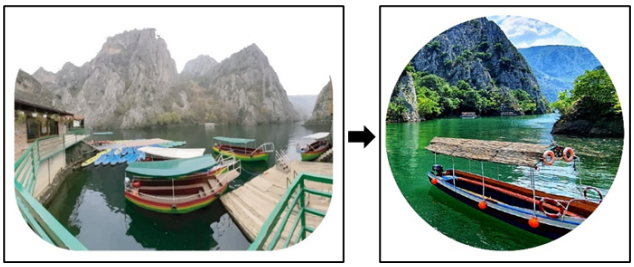


Figure 21. *Matka Canyon symbol; left side - first version used in the test, and right side - improved version.*

The symbol representing Wheat has been subjected to improvements and modifications due to the misinterpretation and lack of clear identification by pupils. A considerable number of pupils mistakenly identified the symbol as straw, while others left it unanswered. In response to these observations, the symbol has been refined and altered to enhance its clarity and distinction (Figure 22).

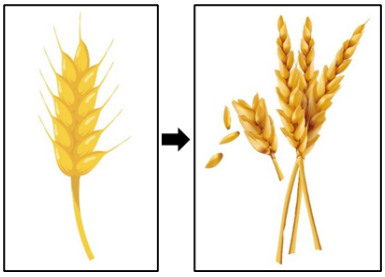


Figure 22. *Wheat symbol; left side - first version used in the test, and right side - improved version.*

The wooden boat symbol has undergone enhancements and rectifications to ensure its improved representation. The symbol now includes the depiction of water, presenting it in its most accurate form. The decision to improve the symbol stemmed from instances where pupils left the symbol blank or unanswered, indicating a need for clarification. Consequently, the improvements were implemented to render the symbol more comprehensive and complete (Figure 23).

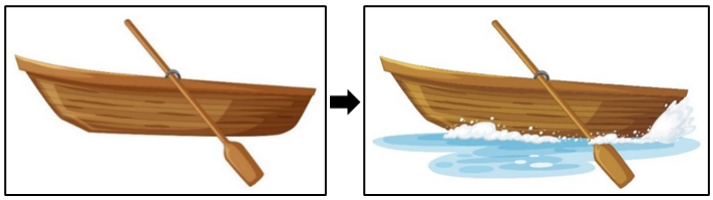


Figure 23. *Wooden Boat symbol; left side - first version used in the test, and right side - improved version.*

Following the alterations and enhancements made to the symbols created for the atlas, the representation of the Natural Thermal Bath symbol has also been modified. This decision was influenced by the findings derived from the symbol tests and the responses provided by the pupils. In the majority of cases, the symbol was interpreted as a swimming pool, a woman in a sauna, or even a jacuzzi. To address these misconceptions, the symbol has been entirely redesigned with a new depiction that is more comprehensible, distinct, and unambiguous (Figure 24).

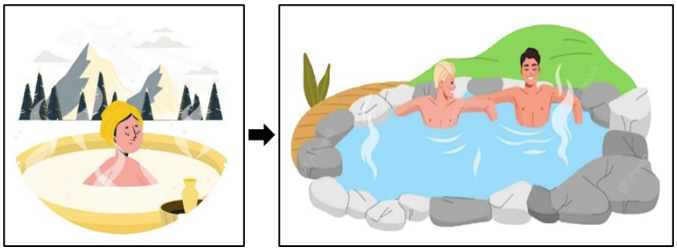


Figure 24. *Symbol of Natural Thermal Bath; left side - first version used in the test, and right side - improved version.*

The symbol representing the Stone Bridge in Skopje is currently undergoing enhancements and revisions. These modifications are based on the findings obtained from the initial symbol testing. During the testing, pupils identified the symbol solely as a "Stone Bridge" without specifically associating it with the Stone Bridge of Skopje. Consequently, it was determined that the existing symbol should be replaced with an entirely new representation that is more comprehensible to pupils (Figure 25).

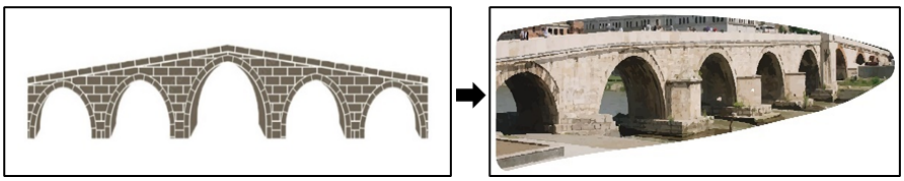


Figure 25. *The symbol of the Stone Bridge in Skopje; left side - first version used in the test, and right side - improved version.*

The Pepper symbol is the final symbol undergoing enhancements and revisions as part of the overall improvement and redesign of the symbols compiled and designed for the atlas. This particular symbol has undergone a complete transformation based on the findings and responses obtained during the testing phase. In many instances, pupils left the symbol unanswered, while in other cases, they identified and perceived it as a tomato. Consequently, it was determined that the existing symbol should be replaced with a completely new and more comprehensible representation (Figure 26).

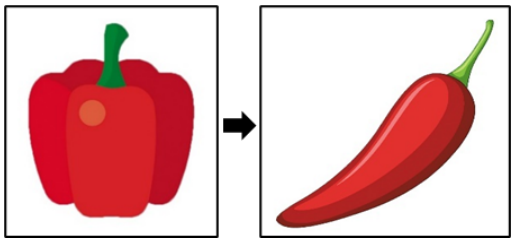


Figure 26. *The symbol of Pepper; left side - first version used in the test, and right side - improved version.*

CONCLUSIONS

This paper presents the development and evaluation of symbols designed for an atlas tailored to primary school pupils in the Republic of North Macedonia. This study was conducted as a component of the "Atlas of North Macedonia for Primary Schools", a compilation specifically designed for primary school pupils in the Republic of North Macedonia. The symbols were meticulously crafted to align with the cognitive abilities, age group, and spatial thinking skills of the target audience. Extensive testing was conducted with 567 primary school pupils from different grade levels to ensure the clarity and comprehensibility of the symbols. The findings reveal that pupils generally possess a good understanding of symbols representing common elements like fruits, vegetables, and grains. However, symbols depicting significant landmarks or objects representative of various cities were less familiar to the pupils. Their recognition of symbols primarily depended on their proximity to the cities, regions, or landmarks depicted. This indicates the importance of designing symbols that are locally relevant to the pupils. Based on the evaluation, certain symbols required improvements to enhance their clarity and accuracy. The paper presented redesigned versions of symbols that were frequently misidentified or misunderstood by the pupils. The modifications aimed to address the identified issues and ensure a more accurate representation of the intended objects. The research has implications for educational practices in primary schools. The carefully crafted symbols serve as visual aids that enhance young learners' comprehension and appreciation of North Macedonia's diverse characteristics. By creating symbols that reflect the unique identity of each city and region, the atlas aims to foster a sense of connection and familiarity among pupils with their country's geography and culture. Moreover, the process of designing and testing the symbols provides insights into the cognitive development and perception of primary school pupils. Understanding how children interpret symbols and images is essential for developing effective educational materials that cater to their cognitive abilities. In conclusion, the presented research contributes to the field of educational cartography and visual communication for primary school pupils. The atlas symbols have been carefully designed to align with the pupils' cognitive abilities and spatial thinking skills. The results of the symbol testing demonstrate the pupils' general comprehension of the symbols, while also highlighting the need for improvements to ensure accurate recognition. Future research may focus on exploring additional factors that influence the pupils' interpretation

of symbols, such as cultural backgrounds or geographic exposure. Moreover, ongoing evaluation and feedback from teachers and pupils can facilitate continuous improvements to the symbols' design and effectiveness in enhancing geographical understanding among primary school pupils. Overall, this study serves as a valuable contribution to educational cartography and educational geography and has practical implications for improving the visual representation of geographic information in atlases aimed at primary school pupils. The designed symbols offer a unique and accessible approach to familiarizing young learners with the diverse cities, landmarks, and natural resources of the Republic of North Macedonia.

REFERENCES

[1] J. Piaget, B. Inhelder, The childs conception of space. London, Routledge and Kegan Paul, 1956.

[2] J. Piaget, B. Inhelder, A. Szeminska, Child's conception of geometry, London, Routledge and Kegan Paul, 1960.

[3] P. Wiegand, Learning and Teaching with Maps New York: Routledge, Psychology Press, 2006.

[4] M. Myridis, A. Christodoulou, E. Kalyva, N. Karanikolas, P. Lafazani, Cartography and children: Designing a multimedia educational tool, *23rd International Cartographic Conference*, Moscow, Russia, 4th–10th August, 2007.

[5] I. Bugdayci, An Evaluation About Map Use in Elementary Schools, PhD Doctorate thesis, Selcuk University, Available at: https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGosterkey=EEdeQgIdFRxX5NbvVauAl0ykrTVBuAVY1De3bKbyOxFvTR6Eb7AGhclxnkKjtN, Konya, 2012.

[6] M. Eckert, Die Kartenwissenschaft: Forschungen und Grundlagen zu einer Kartographie als Wissenschaft Berlin and Leipzig: Walter de Gruyter, 1921.

[7] A. H. Robinson, J. L. Morrison, P.C. Muehrcke, Elements of Cartography (6th ed.), New York: John Wiley & Sons, 1995.

[8] I. O. Bildirici, Cartography Konya: Atlas Academic Press, 2018.

[9] T. Bandrova, A. Deleva, Contemporary cartography for children in Bulgaria, Joint Seminar on Maps for Special Users Wroclaw, Poland, 2nd–4th June, 1998.

[10] T. Bandrova, A. Deleva, A cartographic atlas created for and with the help of children, *Discovering Basic Concepts Conference Montreal*, Canada, 10th–12th August, 1999.

[11] T. Bandrova, C. Dinev, The new cartographic products in Bulgaria – modern school atlases, *22nd International Cartographic Conference*, A Coruña, Spain, 9th–16th July, 2005.

[12] A. H. Robinson, The Looks of Maps: An Examination of Cartographic Design, Madison: University of Wisconsin Press, 1952.

[13] G. Jenks, D. Knos, The Use of Shading Patterns in Graded Series, *Annals - Association of American Geographers.* 51(3) (1961), 316-334.

[14] P. Crawford, Perception of Grey-Tone Symbols*, Annals of the Association of American Geographers*. 61(4) (1971), 721-735.

[15] J. Kimerling, Color Specification in Cartography, *American Cartographer.* 7(2) (1980), 139-153..

[16] J. Olson, Spectrally Encoded Two-Variable Maps, *Annals - Association of American Geographers,* 71(2) (1981) 259-276.

[17] E. Imhof, Cartographic Relief Presentation, New York: De Gruyter, 1982.

[18] A. M. MacEachren, How Maps Work: Representation, Visualization and Design, New York: Guilford, 1995.

[19] B. Dent, Thematic Map Design, Boston: WCB/McGraw-Hill, 1999.

[20] C. A. Brewer, G. Hatchard, and M. A. Harrower, ColorBrewer in Print: A Catalog of Color Schemes for Maps, *Cartography and Geographic Information Science.* 30(1) (2003a), 5-32.

[21] C. A. Brewer, The development of process-printed Munsell charts for selecting map colors, *American Cartographer*. 16(4) (1989), 269-278.

[22] C. A. Brewer, Review of colour terms and simultaneous contrast research for cartography, *Cartographica.* 29(3-4) (1992), 20-30.

[23] C. A. Brewer, Guidelines for Use of the Perceptual Dimensions of Color for Mapping and Visualization, Color Hard Copy and Graphic Arts III, Proceedings 2171, 1994, 54-63, 1994.

[24] C. A. Brewer, Guideline for Selecting Colors for Diverging Schemes on Maps, *The Cartographic Journal*. 33(2) (1996) 79-86.

[25] C. A. Brewer, Spectral Color Schemes: Controversial Color Use on Maps, *Cartography and Geographic Information Systems.* 24(4) (1997a), 203-220.

[26] C. A. Brewer, A.M. MacEachren, L. W. Pickle, and D. Herrmann, Mapping mortality: evaluating color schemes for choropleth maps, *Annals - Association of American Geographers*. 87(3)(1997) 411-438.

[27] C. A. Brewer, Evaluation of a Model for Predicting Simultaneous Contrast on Color Maps, *Professional Geographer,* 49(3) (1997b) 280-94.

[28] A. M. MacEachren, C. A. Brewer, L. W. Pickle, Visualizing georeferenced data: representing reliability of health statistics, *Environment and Planning A*. 30(9) (1998), 1547-1561.

[29] C. A. Brewer, A transition in improving maps: The ColorBrewer example, *Cartography and Geographic Information Science*. 30(2) (2004), 159-162.

[30] P. Wiegand, Oxford International Primary Atlas (2nd ed.) Oxford: Oxford University Press, 2011.

[31] P. Wiegand, Oxford School Atlas (3rd ed.) Singapore: Oxford University Press, 2012a.

[32] P. Wiegand, Oxford Student Atlas (4th ed.) Singapore: Oxford University Press, 2012b.

[33] P. Wiegand, Oxford International Student's Skills Workbook (3rd ed.) New York: Oxford University Press, 2012c.

[34] N. J. J. Reyes, M. Juliarena, E. Cristina, E. Gallé, A. M. Garra, C. A. Rey, C. Alves, V. María, A. S. DiBiase, Resuming an international project: Map use in Argentine and Hungarian schools, *II. International Conference on Cartography & GIS Borovets*, Bulgaria: 21st–24th January, 2008.

[35] S. K. Gandy, Mapping Skills and Activities with Children's Literature, *Journal of Geography.* 105(6) (2006), 267–271. doi: 10.1080/00221340608978696.

[36] H. Doug, R. Kay, Assessing Young children's Freehand Sketch Maps of the World, *International Research in Geographical and Environmental Education*. 10(1) (2021), 20–45. doi: 10.1080/10382040108667422

[37] O. Kristien, M. Philippe De, D. Lien, V. D. V. Nina, V. D. W. Nico, and V. Stephanie, Education in cartography: What is the status of young people's Map-reading skills?, *Cartography and Geographic Information Science.* 43(2) (2016),134–153. doi:10.1080/15230406.2015.1021713

[38] H. İ. Şenol, T. Gökgöz, Ortaokul Çocuklarının Harita Becerilerini Ölçme ve Deşerlendirme Yönelik Bir Vaka Çalışması, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*. 5(3) (2020), 157-174.

[39] H. İ. Şenol, T. Gökgöz, İlkokul çocuklarının harita çizimi ve okuma becerilerini ölçme ve değerlendirmeye yönelik bir vaka çalışması. *Geomatik*. 7(1) (2022), 71-79.

[40] H. İ. Şenol, T. Gökgöz, A Case Study on Map Activities with Children of Kindergarten Age, 2018.

[41] H. İ. Şenol, Çocuklarda harita becerilerinin ölçülmesi ve değerlendirmesi.[Yayınlanmamış yüksek lisans tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2018.

[42] M. Ayuldeş, Y. Akbaş, Oryantiring Uygulamalarının 6. Sınıf Öğrencilerinin Akademik Başarı ve Harita Okuryazarlık Düzeylerine Etkisi, *Eğitim ve Bilim*. 48(213), 2023.

[43] F. G. Uzuner, İlkokul öğrencilerinin matematiksel problem çözme becerilerinin geliştirilmesinde oryantiringin etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon Üniversitesi, 2019.

[44] I. Bugdayci, H. Z. Selvi, Do Maps Contribute to Pupils' Learning Skills in Primary Schools?, *The Cartographic Journal*. 58(2) (2021), 135-149.

[45] B. B. Petchenik, Fundamental considerations about atlases for children. Cartographica: *The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*. 24(1) (1987), 16-23.

[46] A. Şahin, B. N. Turan, R. A. Özkan, İlkokul Öğrencilerine Yönelik Mahremiyet Bilinci Ölçeği Geliştirme Çalışması, *Ahmet Keleşoğlu Eğitim Fakültesi Dergisi*. 4(2), 199-209, 2022.

[47] H. Telli, Osmanlı Vakfiyelerinde Hz. Muhammed'i (sav) ve Konumunu Tavsif Eden İfade Formları (Makedonya Örneği). *İSTEM*. 36(2020), 417-438.

[48] E. Jonuzi, S. S. Durduran, T. Alkan, North Macedonian Cadastre Towards Cadastre 2034. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 4(2) (2022), 26-44.

[49] B. Stojanovska, B. Lazareska, N. Slezelkova-Nikovska, Natural Sciences – For the Fourth Grade, Book from social sciences, for the fourth (4) grades, of primary schools of nine-year primary education, Republic of North Macedonia, Approved by the Ministry of Education and Science, Skopje, Republic of North Macedonia.

Necmettin Erbakan Üniversitesi
Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi
Journal of Science and Engineering (NEJSE)
DOI: 10.47112/neufmbd.2023.13

Cilt: 5 Sayı:1 Yıl: 2023 | Derleme / Review | E-ISSN: 2667- 7989

Yüzey Pürüzlülüğünün Giderilmesinde Taşlama ve Manyetik Aşındırıcılar ile İşleme Yöntemlerinin Etkileri

Tuba DEMİREL [1]

[1] Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Gaziantep, Türkiye,
tuba.demirel@hku.edu.tr *(Sorumlu Yazar/ Corresponding Author)*

Makale Bilgileri

Makale Geçmişi
Geliş: 25.05.2023
Kabul: 26.06.2023
Yayın: 31.12.2023

Anahtar Kelimeler:
MAİ, Taşlama, Yüzey parlaklığı.

ÖZ

Manyetik aşındırıcı yöntem (MAİ), metal yüzeyinin yüzey pürüzlülüklerinin azaltılmasında ve yüzeyinin parlatılmasında kullanılan özel bir işleme tekniğidir. Hassas ve karmaşık geometrilere sahip parçaların işlenmesi için etkili bir şekilde kullanılabilir. Freze ve torna işlemlerinden sonra metal yüzeyin parlatılmasında geleneksel taşlama yöntemi kullanılırken Son 10 yılda MAİ yöntemi denenmeye başlanmıştır. MAİ yöntemi, aşındırıcı taneler bir taşıyıcı aparatın içindeki mıknatıslar ile manyetik olarak uyarılır ve işlenecek malzemenin yüzeyine yaklaştırılır. Manyetik alanın etkisiyle aşındırıcı taneler, malzemenin yüzeyini etkileyerek istenilen şekil, pürüzsüzlük ve parlaklık elde etmeye yardımcı olur. Literatürde şimdiye kadar karşılaştırılması yapılmamış MAİ ve taşlama yöntemlerinin, iş parçasının yüzey pürüzlülük değerlerine olan etkileri araştırılmıştır. MAİ yönteminde manyetik alan yardımı ile aşındırıcı tozlar, esnek fırça haline gelirken taşlama yönteminde ise aşındırıcı tozlar zımpara taşında yapışkan ile bir arada tutularak esneklik özelliği olmamasıdır. Inconel718 nikel alaşımının taşlama yöntemi ile yüzey parlatma işleminden önce R_a: 0,473 µm iken Ti-6Al-4V alaşımın MAİ yönteminden önce R_a: 0,153 µm değeri olmaktadır. Yüzeyi işleyen yöntemleri kendi içinde değerlendirildiğinde, Inconel718'de R_a: 0,153 µm 'ye düşmüştür. Ti-6Al-4V'de ise R_a: 0,117 µm'ye düşmüştür. MAİ yönteminin alternatif yöntem olacağı görülmüştür. Bu yöntemle, karmaşık ve hassas iş parçalarının işlenmesini kolaylaşacaktır. İki yöntem için kullanılan kesme kuvvetinin matematiksel modellemeleri incelenmiştir. Çalışmanın temellendirildiği fikirde literatür bulguları uyumlu bulunmuştur.

Effects of Grinding and Magnetic Abrasive Finishing Methods on Removal of Surface Roughness

Article Info

Article History
Received: 25.05.2023
Accepted: 26.06.2023
Published: 31.12.2023
Keywords:
MAF, Grinding, Surface polishing.

ABSTRACT

Magnetic abrasive machining (MAF) is a specialized machining technique used to reduce surface roughness and polish the surface of metal. It can be effectively used for machining parts with precision and complex geometries. While the traditional grinding method is used for polishing the metal surface after milling and turning operations, the MAF method has been tried in the last 10 years. In the MAF method, abrasive grains are magnetically excited by magnets in a carrier apparatus and brought close to the surface of the material to be machined. Under the influence of the magnetic field, the abrasive grains affect the surface of the material and help to obtain the desired shape, smoothness and gloss. The effects of MAF and grinding methods, which have not been compared in the literature so far, on the surface roughness values of the workpiece were investigated. In the MAF method, the abrasive powders become flexible brushes with the help of magnetic field, while in the grinding method, the abrasive powders are held together with adhesive on the abrasive wheel and do not have flexibility. While Ra: 0.473 µm for Inconel718 nickel alloy before surface polishing with grinding method, Ra: 0.153 µm for Ti-6Al-4V alloy before MAF method. When the surface treatment methods are evaluated within themselves, Ra: 0.153 µm in Inconel718. In Ti-6Al-4V, Ra decreased to 0.117 µm. It was seen that the MAF method would be an alternative method. This method will facilitate the machining of complex and precise workpieces. Mathematical modeling of the cutting force used for the two methods was investigated. The idea on which the study was based was found to be consistent with the literature findings.

Atıf/Citation: Demirel, T. (2023). Yüzey pürüzlülüğünün giderilmesinde taşlama ve manyetik aşındırıcılar ile işleme yöntemlerinin etkileri, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, *5*(2), 111-134. https://doi.org/10.47112/neufmbd.2023.13

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

GİRİŞ (INTRODUCTION)

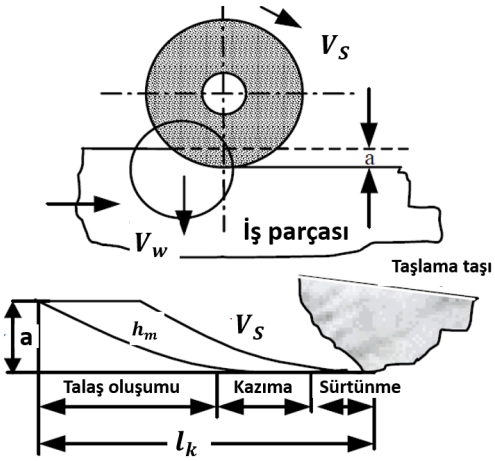
İmalat alanı içinde talaş kaldırma yönteminde üç temel yöntem bulunmaktadır. Metal iş parçasının şekillendirilmesinde talaşlı imalat yöntemleri kullanılmaktadır [1,2]. Geleneksel olan imalat yönteminde, malzemeyi kaldırmak için kesici takım kullanılmaktadır. Geleneksel olmayan talaşlı imalat yönteminde ise kesici takım yerine enerjinin çeşitli formları kullanılarak malzeme kaldırma işlemi gerçekleştirilmektedir. Aşındırıcılarla talaş kaldırma yöntemleri; taşlama, honlama, lepleme, hassas işleme parlatma yöntemlerinden oluşmaktadır [1-4]. Torna ve freze tezgahlarında bulunan kesici takım ile iş malzemesi üzerinden talaş kaldırma işlemi sırasında, fiziksel temas olunca gerilme ile talaş kaldırma işlemi gerçekleşmektedir [5,6]. Geleneksel imalat (torna, freze, taşlama vb.) işlemi sırasında, malzemenin üzerinde plastik-kayma deformasyonlarından kaynaklanan talaş oluşumu gözlenip kesicinin ucunda da önemli ölçüde ısı oluşmaktadır [1,2,6].

Tornalama, frezeleme işlemlerinden sonra yüzeyin kalitesi bozularak pürüzlülük değerinin artmasıdır. Bu pürüzlenmenin önüne geçebilmek için yüzeyin parlatılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Yüzeyi daha parlak hale getirmek için imalat sektöründe taşlama yöntemi kullanılmaktadır [7–11]. Sert aşındırıcılar sayesinde iş parçası üzerinden talaş kaldırılarak yüzey temizlemesi yapılmaktadır [8,9,11–15]. Taşlama yöntemindeki aşındırıcılar, yüksek hızla dönen aşındırıcı tozların bir arada bulunduğu tekerlek biçimindeki aparatlardır [7–11]. Bu aparatlar ile yüzeyden çapak alma ve pürüzlerin giderilmesi daha kolay hale gelmiştir [8,9,11–15]. İmalat sanayisinde; makine parçalarına tornalama, frezeleme vs. işleme yöntemleri kullanılarak şekil verildikten sonra yüzeyi hem parlatmak hem de Ra'yı gidermek için taşlama yöntemi önem arz etmektedir [16,17]. Geleneksel yöntemlerden taşlama yönteminde ki taşlama tezgahları 4 çeşittir; 1-Düzlem (satıh) taşlama da iş parçalarının düzlem yüzeyleri taşlanmaktadır. 2-Silindirik taşlama, kendine ait delik taşlama aparatıyla yapılmaktadır. 3-Puntasız taşlama da ise sevk kızağı üzerinde bulunan iki taş arasında bağlama yapılmadan taşlanır. 4-CNC taşlama da nümerik kontrol sağlanarak silindirik ve düzlem taşlama işlemlerinde yüksek hassasiyet işlemi yapılmaktadır [18–20].

Geleneksel olmayan (ileri aşındırıcı ile) yüzey parlatma yöntemleri iki temel grupta değerlendirilmektedir. İşlem yapılırken, dışarıdan kontrol edilemeyeni birinci grup olarak değerlendirebiliriz. Birinci grupta yer alan yöntemler; aşındırıcı akışkan ile İşleme (AFM), elastik emisyon ile işleme (EMM), kimyasal-mekanik parlatma (CMP)'dır. İkinci gruba bakıldığında ise manyetik alanın önemi karşımıza çıkmaktadır. İkinci grupta yer alan yöntemler; Manyetik Aşındırıcı ile İşleme (MAİ), Manyetoreolojik İşleme (MRF), Manyetoreolojik Aşındırıcı Akışı ile İşleme (MRAFF)'dir [21,22].

Taşlamayla talaş kaldırma işlemi freze işlemine benzetilebilir. Frezede, kesici kenar kullanılırken taşlamada, çok sayıda aşındırıcı taneciklerin kesici kenarları kullanılmaktadır. Taşlama işleminde her aşındırıcı tane mikron boyutlarında talaş üretmektedir. Bu mikron boyutların birleşmesi ile yüzeyden kaldırılan talaşların hacmi artar. Talaş kaldırma işleminde kesme kuvvetlerindeki problemler tam olarak çözülememiştir. Kullanılan iş parçası malzemesi üzerinde yıllardır çalışmalar yapılmaktadır [23]. Taşlama kuvveti taşın yer değiştirmesi sonucunda belirlenmektedir [12,24,25].

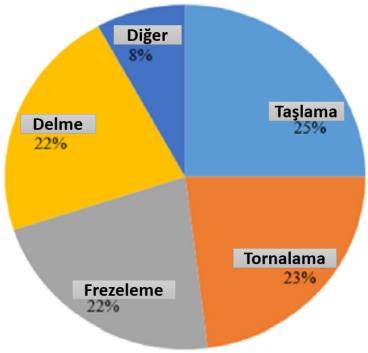
İş parçasının bir kısmını taşlayan her taş tanesinin harcadığı enerji miktarı, taşlamanın oluşum mekaniğini oluşturmaktadır. Kesici taneye uygulanan kinematik bağ, zımpara taşı ve iş parçası hareketine bağlıdır. Talaş şeklinde kesen tanenin takım yolu uzunluğu (l_k) ve maksimum kopmayan talaş kalınlığı (h_m) Şekil 1'de gösterilmiştir. Talaş geometrisine bakıldığında, taşlama sırasında sürtme, kazıma ve kesme olmak üzere üç ardışık şekilde talaş oluşumu gözlemlenmiştir. Sürtme sonucunda iki malzeme arasında elastik sınırı geçmeden kayma gerilmesi olmaktadır. Kazıma aşamasına gelindiğinde, kesici aşındırıcı tanesi ve iş parçası arasındaki kayma, gerilme elastik sınırını geçtiğinden dolayı plastik deformasyon gözlenmiştir. Talaş oluşumu aşamasında ise, kayma gerilmesine dayanamayan iş parçası kuvvetin geldiği yöne doğru malzemeyi, yanlara biriktirmeye başlayarak kendi içindeki moleküler bağları kopardığı gözlemlenmiştir. Talaş kaldırmada kinetik enerji etkili biçimde kullanılmaktadır. Sürtünme ve kazıma aşamalarında ise ısı açığa çıktığı için enerjinin verimi düşmektedir. Bazı yüzeylerde ısı miktarının artması sonucunda büyük sıcaklıklar oluşarak iş parçasından belirli bir derinlikte metalurjik hasarlar görülmüştür (Şekil 1) (V_w; İş parçasının tabla hızı (m/dk), V_s; Zımpara taşının çevre hızı (m/s), a; Talaş derinliği µm) [26,27,28,29-32].



Şekil 1. *Talaş oluşumunun üç aşaması (Three stages of chip formation) [26,27,28,29-32]*

Demir ve Güllü, 50 HR_c sertliğindeki AISI 1050 malzemesinden yapılmış iş parçası, 1596 dev/dk taş devri ve Al_2O_3 zımpara taşı seçilerek düzlem taşlama tezgahında işlenmiştir. Taşlama işleminde, kesme derinliklerinin arttırılmasıyla ortalama yüzeydeki aşınma pürüzlülük değerlerinde %44–68 artma olduğunu belirtmişlerdir [27,28]. Al_2O_3 zımpara taşını silindirik taşlama tezgahında kullanarak çeliklerin % aşınma ve yüzey pürüzlülüğü (R_a) arasındaki araştırmışlardır. Taşın tane büyüklüğü, taşın dokusu, taşın sertliği ve % taşlama oranı parametreleri yüzeyin R_a değerini etkilediğini belirtmişlerdir [11,26,27,29-34].

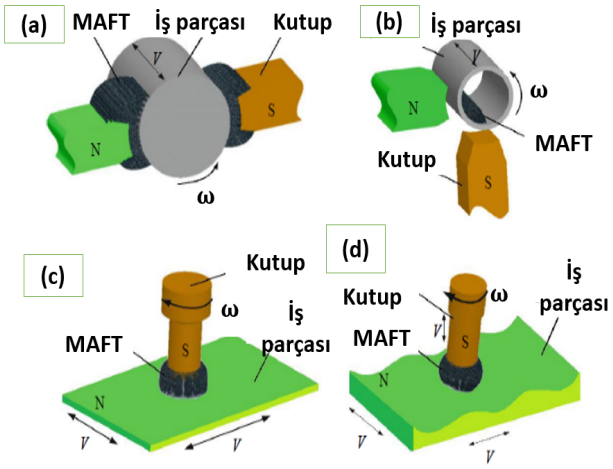
İmalat sanayisinde %25'lik pay ile taşlama ilk sıradadır. Bunu tornalama, frezeleme ve delme takip etmiştir. Taşlama işlemi, imalat endüstrilerindeki ürünün üretiminde veya fabrikasyonunda önemli bir rol oynadığı Şekil 2'de görülmüştür. Konvansiyonel taşlama uygun soğutma sıvısı olmadan gerçekleştirilemez çünkü taşlamadaki özgül enerjinin büyük bir kısmı taş-iş parçası temas bölgesinde ısıya dönüştürülür. Bu ısı üretimi, termal deformasyona, zayıf yüzey kalitesine ve yüksek takım aşınmasına neden olmaktadır. Düşük tekerlek hızına ve düşük talaş kaldırma oranına sahip geleneksel taşlama, aşırı tekerlek aşınması ile ilişkilidir. Yumuşak alaşımları veya yumuşak alaşımlı levhayı geleneksel taşlama olan zımpara taşı ile iş parçasının etkileşiminden kaynaklanan, yüksek gürültü ile birlikte büyük santrifüj kuvveti ve aşındırıcı taneciğin negatif talaş açısı nedeniyle oluşan dengesiz kuvvet, geleneksel işlem sırasında daha yüksek taşlama kuvvetine ihtiyaç göstermiştir [35].



Şekil 2. *İmalat sanayisinde yüzey işleme yöntemlerinin kullanımı (The use of surface treatment methods in manufacturing industry) [35]*

MAİ yöntemi, taşlama yöntemine rakip olmuştur. Manyetik alan yardımıyla karmaşık geometriye sahip iş parçalarının, hassas bir şekilde işlenmesi sonucunda yüzeyden talaş kaldırılması ile yüzeyin parlatılması esasına dayanmaktadır. Bu yöntem, geleneksel olmayan imalat çeşitleri içerisinde yer almaktadır. Sert ve keskin köşeli aşındırıcı toz taneleri, yumuşak iş parçası yüzeyine temas etmesi sonucunda yüzeyi çizerek aşındırıcı (abrasif veya abrasiv) aşınmaya neden olmaktadır [36-38]. Zehirli kimyasallar yerine yüksek sıcaklıklara dirençli aşındırıcı tozlar kullanılmaktadır [39-42]. Ferromanyetik ve aşındırıcı tozların belirli oranlardaki karışımları yüzeyden mikron boyutlarda toz kaldırmaktadır. Aşındırılacak yüzeyler metalik veya metalik

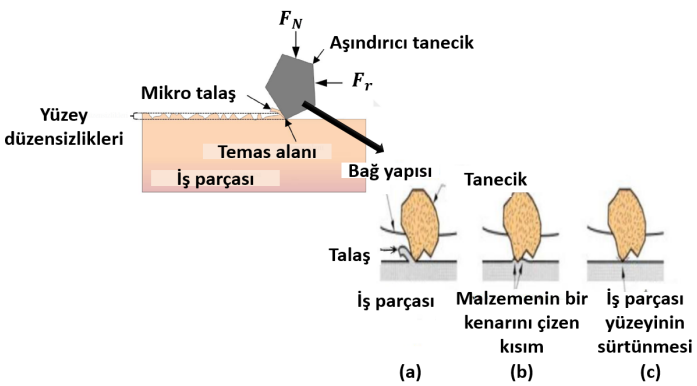
olmayan malzemelerden seçilmektedir [21,43]. MAİ'de iş parçası manyetik alanda kalmaktadır. Mıknatıs veya elektriksel bobinler yardımı ile manyetik alan oluşturulmaktadır. Esnek fırça şeklinde kullanılan aşındırıcı taneler, silindirik parçalara uygulanmaktadır (Şekil 3a,b). Aşındırıcı tozlarla birlikte Fe (demir) tozları kullanılarak esnek manyetik aşındırıcıdan oluşmuş fırça takımı (MAFT) oluşturulup düzlem ve dalgalı yüzeylere uygulanmaktadır. Yüzeyde çok noktadan kesme yapan kesici gibi davranmıştır (Şekil 3c,d) [42,44–47].



Şekil 3. *MAİ yöntem çeşitleri: (a) Silindirik dış, (b) Silindirik iç, (c) Düzlemsel, (d) Serbest yüzey (Types of MAF methods: (a) Cylindrical external, (b) Cylindrical internal, (c) Planar, (d) Free surface.) [42, 44–47]*

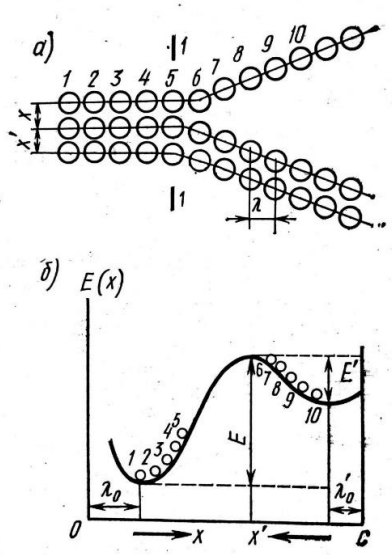
Kheelan ve Patel, MAİ yöntemindeki iş parçasında mikro-çatlak yüzey hasarını en aza indirerek neredeyse nanometre aralığına düşürmüştür. Küçük boyutlardaki aşındırıcı tozlar iş parçası yüzeyinde daha fazla etkili olmuştur. Taşlamadaki iş parçasının yüzey kalitesinin daha iyi olması için yumuşak yüzeylerde toz boyutunun büyük ve sert olması, sert yüzeylerde ise tane boyutlarının küçük olmasının gerektiğini belirtmişlerdir [32]. Daha hassas yüzeylerin üretilmesinde mikron veya nano boyutunda talaş kaldırılmaktadır. Uzay, uçak, makine, medikal gibi alanlarda yüzeyin parlatılması önemlidir [21,42,48].

Taşlama ve MAİ yönteminin ortak özelliği; aşındırıcı tane ile iş parçası arasında sürtünmeden dolayı ısı oluşmaktadır. Kullanılan aşındırıcı toz çeşitleri iki yöntem için de geçerlidir [26]. Aşındırıcı taneler; çelik ve diğer demir gibi yüksek mukavemetli iş parçası yüzeylerinin pürüzlülüklerini giderip parlatmak için kullanılmaktadır. Silisyum karbür (SiC) ve alüminyum oksit (Al_2O_3) geleneksel aşındırıcı tane olarak kullanılmaktadır. SiC taneleri Al_2O_3 tanelerine göre daha sert bir yapıya sahiptir. Bu aşındırıcı tanelerin kesme, ezme (kazıma) ve ovalama olmak üzere üç farklı etkisi vardır (Şekil 4). Yüzeyden talaş kaldırılırsa kesme etkisi olur (Şekil 4a). Yüzeyden talaş kaldırmadan yüzeyi deforme ederse ezme (kazıma) etkisi olur (Şekil 4b). Aşındırıcı taneler, yüzeye temas ederse sadece ovalama sürtünme etkisi olur ve malzeme kaldırılmaz (Şekil 4c) [42,49].



Şekil 4. *Aşındırıcı taneler; (a) Kesme (b) Ezme (kazıma) ve (c) Ovalama (sürtünme) (Abrasive grains: (a) Cutting, (b) Crushing (grinding), and (c) Rubbing (friction).) [42,49]*

Rasuljon ve ark., malzemelerin yüzeyinden talaş kaldırılmasını şu faktörlere bağlamıştır: Malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri; şekli, boyutu ve tanecikli yapısı, malzemedeki kusurların sayısı, mukavemeti, sertliği veya yumuşaklığı ve diğer taşlama makinelerinin yapısı ve türleridir. Dış kuvvet nedeniyle iş parçası yüzeyinde elastik deformasyon gerilmeleri birikmektedir. Atom tabakasının bağ kırma işlemi üzerindeki etkisini Şekil 5'te gösterilmiştir. Yüklü bir malzemede çekme gerilimi, bağların kırılmasını ve eski haline dönmesini engeller (Şekil 5a). Yüksüz durumda ise bağların kısa olduğu ve kırılması için büyük bir kinetik enerjiye ihtiyaç olduğu anlamına gelmektedir. Yüksek gerilimde bağ süreksizlikleri büyüktür ve mikro çatlakların büyümesine yol açmaktadır. Dış kuvvet, iş parçası yüzeyinde elastik deformasyon kuvvetlerinin birikmesine neden olmaktadır. Parçanın herhangi bir yerinde oluşan, bir kusur sonucunda konsantre gerilme meydana gelir ve bu dayanım sınırına ulaşmadan artar ve bunun bir kısmı yeni oluşan yüzeyde harcanır. Bu enerji faydalı enerji, iş parçasından talaş kaldırdıktan sonra geri kalan enerji ise parçayı sıkıştırmak için elastik deformasyon sağlar (Şekil 5b). Sonuç olarak; iki tip kırma mekanizması vardır. Birinci aşamada, termal dalgalanmalar ile çatlaklar sağlanır. İkinci aşamada ise çatlakların büyümesi ile katı cismin çekme özellikleri belirlenir ve enerji rezervi içinde depolanırlar [50].



Şekil 5 (Figure 5). *Mikro çatlakların moleküler modeli (The molecular model of microcracks) [50]*

Yüzeyin pürüzlülüğünün giderilip daha parlak yüzeyler elde edilebilmesi esnasında yüzeyin en az şekilde hasar alarak uygulanan geleneksel (taşlama) ve geleneksel olmayan aşındırıcılarla yüzey işleme yöntemlerinin karşılaştırılması literatürde araştırılmıştır. Taşlama ve MAİ yöntemi için literatürde karşılaştırmalı deneysel çalışmalar bulunmamaktadır. Uzman bir kişinin imalat alanında kanıta dayalı bilgiye daha kolay ulaşmasını sağlayacaktır. MAİ yöntemi ile yüzey işlemlerinin endüstrideki uygulamaları Türkiye'de fazla yaygınlaşmamıştır. Ülkemizde hassas parçaların yüzey parlatılmasında MAİ yönteminin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda MAİ ve taşlama yöntemlerinde yüzey pürüzlülüğünün giderilmesi sonucunda literatür bulguları (SEM, kesme kuvveti modellemesi, aşındırıcı malzeme çeşitleri) karşılaştırılarak talaş kaldırma mekanizmasının işlem parametrelerinin etkileri incelenmiştir.

Hassas Yüzey İşlemedeki Aşındırıcı Malzemeler (Abrasive Materials In Sensitive Surface Finishing)

İş parçasının imalatı süresinde maliyeti az tutarak üretim veriminin daha fazla olabilmesi için kesme kuvvetleri, yüzey kalitesi, aşınma değerleri, kesme parametreleri gibi işlem parametrelerinin belirlenmesi, yüzeyin kalitesini arttırmada önemli olmaktadır [12,51,52]. Literatürdeki SEM görüntülerine bakıldığında taşlama yönteminde yüzeysel hatalar olurken MAİ yönteminde yüzeysel hataların olmadığı görülmüştür. İşlem parametrelerinin optimizasyonu ile ilgili de çalışmalar mevcuttur. Optimizasyon teknikleri; deneysel yolla elde edilen verilerin yorumlanmasında, etkin parametrelerin tespitinde kullanılmaktadır. Taşlama işleminde; taşın ilerleme yönünde, ilerleme yönüne dik yönde ve ilerleme yönüne 45° açılı yön doğrultusunda 3 farklı ölçüm alınarak yapılmalıdır. Daha sonra bu ölçümlerin aritmetik ortalaması da ortalama yüzey pürüzlülük değerini

vermektedir. Burada önemli olan nokta ise iş parçası üzerinde işlemin ilerleme yönleri tespit edilerek ölçümler dikkatlice alınmalıdır [11,53]. İyi bir yüzey kalitesi için honlama, taşlama, lepleme (ince parlatma), MAİ kuvveti ile hassas işleme (süper parlatma) yapılmaktadır [41,54].

Taşlama İşlemindeki Aşındırıcı Malzemeler (Abrasive Materials in the Grinding Finishing)

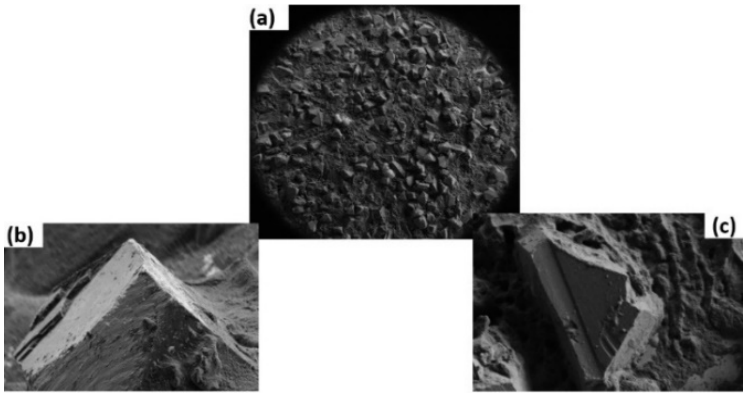
Taşlamada kullanılan zımpara taşı, geometrisi tam olarak belli olmayan binlerce aşındırıcı tanelerin bir arada bir bağlayıcı madde ile bağlanması sonucunda çok ağızlı takım olarak karşımıza çıkmaktadır. Taşlama işleminde kullanılan zımpara taşının belirlenmesinde; kesici yapısı, malzemesi ve bağlayıcı malzemeleri ve kullanılacak taşlama tipi önem arz etmektedir. Amacına uygun parametreler seçilmezse iş parçasında uygun olmayan yüzey yapıları oluşmaktadır. Zımpara, elmas, Al_2O_3, SiC, Kübik Bor Nitrür (CBN) aşındırıcı tozları, zımpara taşlarında kullanılan aşındırıcı malzeme olarak karşımıza çıkmaktadır. Aşındırıcı malzemeleri bir arada tutan bağlayıcı malzemeler; lastik, reçine, şelak, seramik, silikat bağları şeklinde sınıflanmaktadır [16,17,55]. Zımpara taşlarında; %54 aşındırıcı toz taneler, %26 bağlayıcı eleman ve %20 boşluk bulunmaktadır. Taşlamada bulunan boşluk, talaş kırma ve aynı zamanda talaşın uzaklaştırılması görevini yapmaktadır [12,17,52,55-57]. Korindon, zımpara ve elmas doğal aşındırıcılar grubundadır. El yapımı aşındırıcı malzemeler ise Al_2O_3, SiC sıklıkla kullanılmaktadır. Aşındırıcı taneler ve bağlayıcılar birlikte preslendiğinde tanelerin birbirine olan uzaklığı preslenme kuvvetine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Sonuç olarak, zımpara taşın yapısında gözenekler oluşmaktadır. Aşındırıcı taneler; seyrek, orta ve sıkı şekilde zımpara taşı üzerinde dizilmektedir [58,59,60]. Zımpara taşlarını birbirinden ayırt eden özellikleri sertlikleridir. Aşındırıcı tanelerin zımpara taş üzerinden sökülebilmesi sertliği belirleyen en önemli unsurdur. Yumuşak zımpara taşı üzerinde aşındırıcı taneler kolayca taş yüzeyinden ayrılmaktadır. Aşındırıcı taneler, zımpara taş yüzeyini kolayca terk etmiyor ise buna sert zımpara taşı denilmektedir [13,14,61–63]. Sert ve gevrek iş parçalarının taşlanmasında sürtünme aşınmaları meydana gelmektedir. Bu aşınmadan dolayı taşta bulunan aşındırıcı tanelerin uçları körelmektedir. Yumuşak malzemelerde sürtünme aşınması daha azdır. İdeal olarak, sık dokulu sert zımpara taşlarının kullanılmasıyla iş parçasının yüzeyi daha parlak olmaktadır. A harfi en yumuşak iken Z harfi en sert zımpara taşını ifade etmektedir (Tablo 1) [57].

Tablo 1 (Table 1). *Zımpara taşlarının sertlik değerleri (The hardness values of abrasive stones) [57]*

Niteliği (Quality)	**Sertlik Derecesi (Hardness Degree)**	**Kullanım Alanları (Areas of Use)**
Çok yumuşak (Extremely soft)	A, B, C, D, E, F, G	Derin ve yan taşlama işleminin uygulandığı sert malzemelerde (In hard materials where deep and side grinding processes are applied)
Orta yumuşak (Medium soft)	H, I, J, K, L, M, N, O	Geleneksel metal taşlamada (In traditional metal grinding)
Sert veya çok sert (Hard and extremely hard)	P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z	Dış yuvarlak taşlama ve yumuşak malzemeleri (External cylindrical grinding and soft materials)

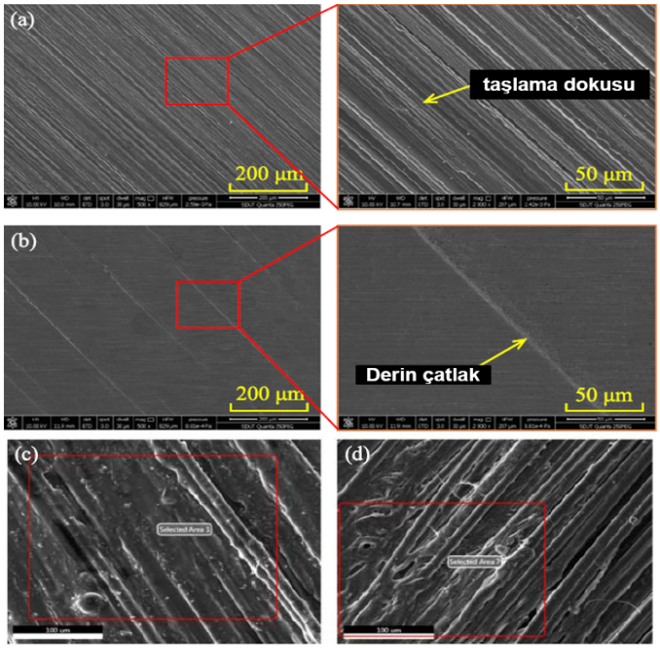
Zımpara taşı seçiminde sırası ile; parça geometrisi, taşlama çeşidi, işlenecek iş parçasının malzemesi, işlenecek yüzey parlatma işlemi, iş parçasının büyüklüğü, taş hızı, iş parçasına göre uygun zımpara taşı uygulanmalıdır [16,17]. Sık dokulu zımpara taşlarında bağlama kuvveti azalmaktadır [27]. Aşındırıcı tozlar işlenecek iş parçasının malzemesine göre belirlenmektedir. Taşlama takımlarında; Al_2O_3, SiC, CBN ve elmas aşındırıcı tozları kullanılmaktadır. Sünek malzemelerde ise CBN veya Al_2O_3 kullanılırken, kırılgan malzemeler için de elmas ve silisyum karbür önerilmektedir. Şekil 6a'da zımpara taşının üzerindeki aşındırıcı tanelerin toplu halde bulunan SEM görüntüsü (X1250-100 µm) verilmiştir. Şekil 6b'de taşlama işlemi olmadan tek bir aşındırıcı toz tanenin görüntüsü verilmiştir. Burada görüldüğü gibi taşlama işlemi olmadan tanenin

keskin kenara sahip olduğu görülmüştür. Şekil 6c'de ise sert iş parçası yüzeyine denk geldiğinden dolayı tanenin keskin kenarı kırılmıştır. Zımpara taşının verimliliğini de düşürmektedir. Takım boyutu nedeniyle kesme verimliliğini artırmak için bazen çok yüksek 80000 dev/dk işleme hızında kullanılmalıdır. Bu işlem için de çok yüksek hacimde soğutma sıvısı gerektirdiği görülmüştür (Şekil 6) [64-66].



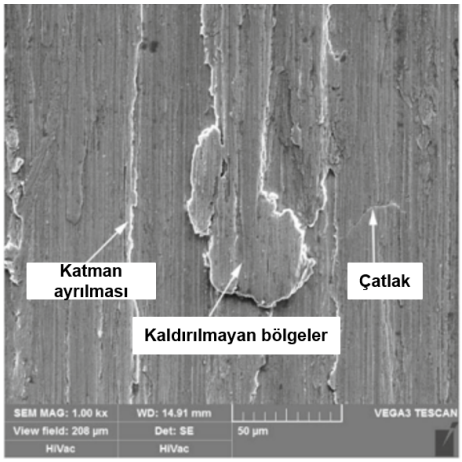
Şekil 6 (Figure 6). *Elektrolizle CBN kaplı zımpara taşı SEM (X1250-100 µm): (a) Tanelerin rastgele dağılımı, (b) Taşlama öncesinde aşındırıcının keskin kenarı, (c) Taşlama sonrasında aşındırıcı tanenin kırılması (Electrolytic CBN-coated grinding wheel SEM (X1250-100 µm): (a) Random distribution of grains, (b) Sharp edge of the abrasive before grinding, (c) Breakage of the abrasive grain after grinding) [66]*

Tian ve ark., Inconel718 iş parçasını taşlama yöntemini kullanarak yüksek teğetsel taşlama kuvveti ve düşük normal taşlama kuvvetini rapor etmişlerdir. Zımpara taşında Al_2O_3 aşındırıcı tanecik mevcuttur. Kesme derinliği 180 µm ve 240 dev/dk taşlama devrinde; 1 nm, 10^{-3}µm değerine eşit olduğu düşünüldüğünde, R_a: 473.7 nm (0.473 µm) 'den 153 nm (0.153 µm) 'ye düşmüştür. Yüzey pürüzlülük (R_a) değeri yaklaşık olarak %68 oranında azaltılmıştır. Inconel718 iş parçasının R_a zımpara taşının hızının artmasıyla arttığı tespit edilmiştir. Taşlamada, zımpara taşının devir sayısı arttıkça iş parçasının yüzeyinin temizlenme kapasitesi artmıştır. Şekil 7(a)'da taşlama öncesinde yüzeyin pürüzlü olduğu görülürken Şekil 7(b)'de ise taşlama sonucunda baskı kuvveti ve zımpara taşının sert olmasından dolayı derin çatlaklar olmuştur. Şekil 7(c-d)'de aşındırıcı tabakaların çizikleri ayrıntılı gösterilmiştir. Taşlamanın dezavantajı, R_a değeri azalırken yüzeyde derin çatlak oluşturmasıdır [67].



Şekil 7 (Figure 7). *Inconel718 iş parçasın SEM: (a) Taşlama öncesi, (b) Taşlama sonrası; Aşındırıcı tabaka SEM: (c) Taşlamadan önce, (d) Taşlamadan sonra (X1.00 kx)(Inconel718 workpiece SEM: Before (a) and After (b) grinding; Abrasive layer SEM: (c) Before grinding, (d) After grinding (X1.00 kx)) [67]*

Ni_3Al-esaslı inter-metalik iş parçasının ana yüzey kusurları arasında derin çizikler, oluklar, birikintiler, tabakalara ayrılma ve temizlenmemiş alanlar yer almaktadır. Ni_3Al esaslı öğütme sıcaklığı, öğütme kuvveti ve öğütme yüzey kalitesini belirlemek için deneyler yapılmıştır. Kesme derinliği, test numunesi yüzeyindeki oluklar, birikintiler, tabakalara ayrılma ve diğer kusurların oluşmasına yol açacaktır. Taşlama sıcaklığı, kesme derinliğinden derinden etkilenmiştir. Taşlama yönteminde; İlerleme hızı, kesme derinliği ve tekerlek hızının artması taşlama sıcaklığını yükseltir. Kesme derinliği ve ilerleme hızı ne kadar büyük olursa, yüzey kusurlarının da artması o kadar fazla olmaktadır. Küçük kesme derinliği ve düşük ilerleme hızı, yüzey bütünlüğünü iyileştirerek taşlama yüzeyi kusurlarını azaltabilmektedir (Şekil 8) [68].

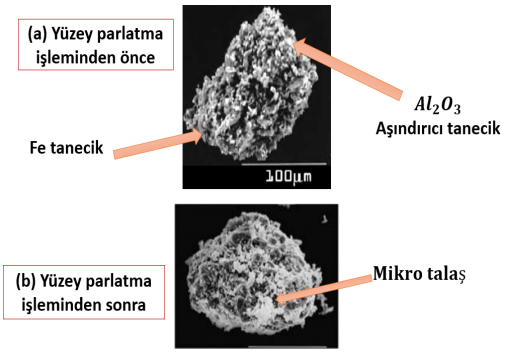


Şekil 8 (Figure 8). *Taşlama işleminden sonra SEM görüntüsü (X1.00 kx) (After grinding SEM image (X1.00 kx)) [68]*

MAİ Yöntemindeki Aşındırıcı Malzemeler (Abrasive Materials in the MAF Process)

MAİ yönteminde bulunan ferro-manyetik ve aşındırıcı tozların mekanik karışımı sinterlenmiş, plazma esaslı, döküme bağlı gibi farklı tiplerde olabilmektedir. Ferro-aşındırıcı kompozit tozların hazırlanması için bileşenlerin sinterlenmesi en yaygın yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu kompozit toz karışımındaki manyetik bileşen miktarı hacimce, aşındırıcı tozlardan %60'tan yüksek olmalıdır. Bu kompozitin toz içerikleri incelendiğinde; demir tozları ve karbürler, alümina, silisyum dioksit, zirkonya, elmas vb. gibi yüksek sertlikteki malzemelerin karışımları şeklinde literatürde yapılmış çalışmaları bulunmaktadır [69-71].

Mori ve ark., sinterlenmiş olan 100 µm boyutlarındaki ferromanyetik (demir (Fe) ve Al_2O_3 karışımı) aşındırıcı tozları MAİ yönteminde kullanarak yüzey üzerindeki pürüzlülükleri gidermek için yüzey parlatma işlemi yapmışlardır. 30 dk süresince yüzey üzerinde parlatma işlemi yapıldıktan sonra mikron boyutlarda talaş kaldırılmıştır. Şekil 9 (a)'da yüzey parlatma işlemi öncesi SEM fotoğrafında (X1250-100 µm) görülen siyah taneler Fe tozunu gösterirken beyaz görünen tanecikler ise SiC tozunun karışımını temsil etmektedir. Şekil 9 (b)'de ise yüzey parlatma işleminden sonra, sinterlenmiş olan bu toz karışımı arasındaki boşluklarda ince talaşların kaldığı açıkça görülmektedir. Bu yöntemin faydalı olduğunu görülmüştür [72].

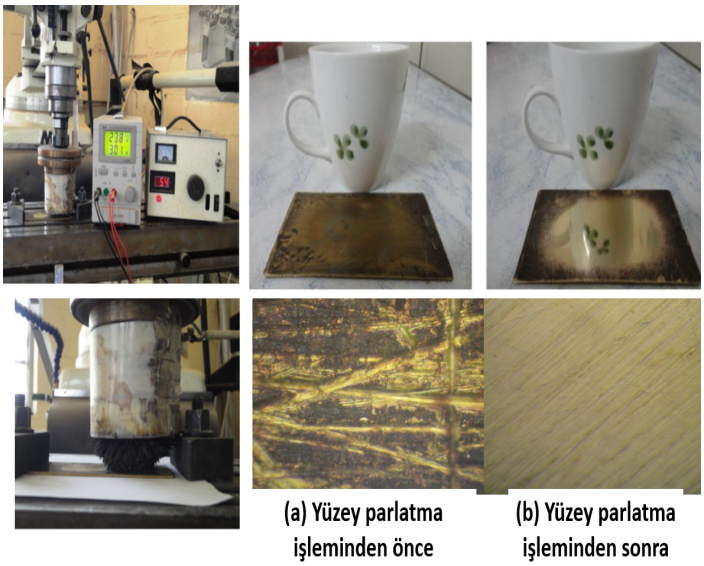


Şekil 9 (Figure 9). *MAİ yöntem öncesi ve sonrası toz taneleri SEM (X1250-100 µm) (Before and after MAF method dust particles SEM (X1250-100 µm)) [72]*

Kovaliova ve ark., MAİ yönteminde toz karışımı olarak sinterlenmiş Fe/elmas karışımında endüstriyel elmas tozu kullanılmıştır [73]. MAİ yönteminde manyetik alan oluşturması için yalnızca saf demir tozu değil demir esaslı tozlar da kullanılmaktadır. Aşındırıcı toz olarak elmas (PCD), Al_2O_3, Si, CBN, karbon nano tüp (CNT) vb. malzemeler kullanılmaktadır. CNT aşındırıcıların üstün mekanik özelliklerine sahiptir. Aşındırıcı taneciklerin boyutlarının küçülmesiyle iş parçasının yüzeyi daha hassas işlenecektir [29,74–76]. Kuvars, imalatta aşındırıcı toz olarak kullanılmaktadır. Magmatik kayaçların ayrışması sonucunda oluşan SiO_2, toz tanelerinin 900ºC sıcaklıktaki kalsinasyonu sonucunda kuvars tozları üretilmektedir [77].

Jain ve ark., ferromanyetik aşındırıcı toz karışımına belirli miktarda yağlayıcı katıp mekanik yolla karıştırmıştır. MAİ yöntemi ile paslanmaz çelik yüzeyi parlatılmıştır. Karışım oranı ve işleme boşluğunun, talaş kaldırma miktarını etkilediği görülmüştür [78].

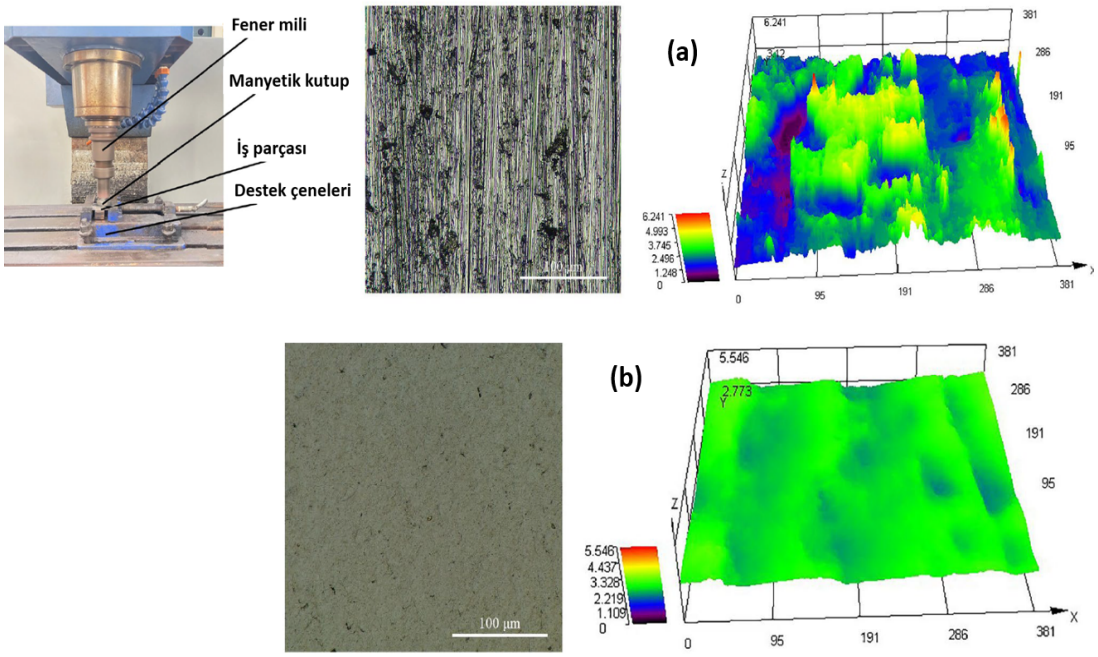
Alkarkhi ve Naif, Alaşımlı pirinç ($CuZn_{33}$) malzemesinin R_a iyileştirilmesinde MAİ yöntemindeki elektromanyetik indüktörü ve tozlarda sinterleme işlemini kullanmışlardır. Sinterlenen malzeme karışımında, ağırlıkça %40 demir tozu ve ağırlıkça %60 kuvars kullanılmıştır. 1200°C bir vakum fırınında sinterlenmiştir. Sinterleme işleminin ardından manyetik aşındırıcılar, yaklaşık 150 µm çapında küçük toz boyutlarında ezilerek aşındırıcı toz taneleri olmuştur. Demir tozu ve kuvars, sinterlemeden sonra birbirine yapıştıkları için ayrılması zordur. Sinterlenmeden kol gücünde mekaniksel olarak karışım sağlanırsa toz taneler daha fazla dağılacaktır. Deneysel çalışma parametreleri; işleme hızı 525 dev/dk, işleme boşluğu 2 mm, bobinden geçen akım 1.5 A parametrelerde yüzeyi parlatma işlemi yapılmıştır. Parlatma işlemi sonrasında, pirinç yüzeyinin daha parlak olduğu ve R_a'yı 1.046'den 0.131 µm'ye azalttığı gözlenmiştir. MAİ öncesi ve sonrası SEM (X1250-100 µm) fotoğrafları verilmiştir (Şekil 10). Şekil 10(a)'da yüzey parlatma işleminden önce mat bir yüzeye sahip olup yüzeyin pürüzlü olduğu görülmektedir. Şekil 10(b)'de ise MAİ yöntemi kullanılarak yapılan yüzey parlatma işleminin etkileri görülmektedir [79].



Şekil 10 (Figure 10). *MAİ önce ve sonrası iş parçası yüzeyi (MAF method before and after workpiece surface) [79]*

Liu ve ark., 80x80x4 mm boyutlarındaki SUS 304 plakasında MAİ yöntemi kullanarak düzlem yüzey üzerinde aşınma şekillerini gözlemlemiştirler. MAİ için gerekli Fe toz boyutu 175 µm ile aşındırıcı olarak kullanılan Al_2O_3 toz boyutu 50 µm seçilerek Polivinil alkol yapıştırıcı desteği ile 3 sa ve 1200ºC sıcaklığında sinterlenmiştir. Sinterlenen tozlar 800 dev/dk, 2 mm iş parçası ve 60 dk işleme süresinde Ø20 x 40 mm Nd-B-Fe mıknatısları yardımıyla MAİ yönteminde, plakalara hem sinterlenmiş tozlar hem de sinterlenmeyip mekanik yollar ile karıştırılmış tozlar uygulanmıştır. Deney sonucunda, sinterlenmiş tozların yüzey pürüzlülük değerlerini düşürdüğü gözlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü (R_a) azaldıkça, yüzey üzerindeki daha sık sığ çizgiler oluşarak yüzeyin parlaklığının çoğaldığını gözlemlemişlerdir [80].

Song ve ark., Elmas ve Fe toz karışımı ile Ti-6Al-4V alaşımından oluşan maddenin 30 dakika boyunca düzlem yüzeyi üzerinde MAİ yöntemi ile yapılan çalışmada yüzey pürüzlülükleri giderilmiştir. İş yapılacak boşluk 1 mm ve işleme hızı 1250 dev/dk ile 2000 dev/dk seçilmiştir. 2000 dev/dk işleme hızında R_a: 0.153 µm (Şekil 11a) olurken 1250 dev/dk hızda R_a: 0.117 µm (Şekil 11b) değerlerine düşmüştür. Burada Devir sayısı arttıkça yüzey pürüzlülüğünde azalma gözlenmiştir. Ti-6Al-4V'nin MAİ öncesi ve sonrası yüzey morfolojisinin karşılaştırılması, AFM fotoğrafları yardımı ile MAİ teknolojisinin Ti-6Al-4V'nin yüzey kalitesini etkili bir şekilde iyileştirebileceğini göstermiştir [81].



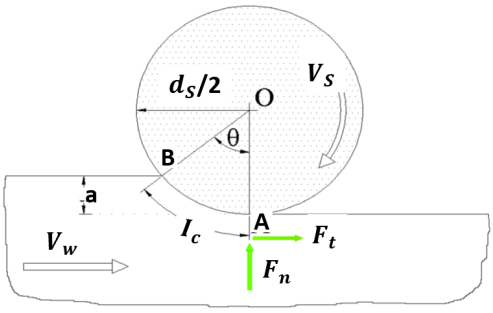
Şekil 11 (Figure 11). *MAİ önce ve sonrası yüzeyin AFM ve SEM görüntüleri (100 µm)(AFM and SEM images of the surface before and after MAF method (100 µm)) [81]*

Malzeme Kaldırmada Mekanizma Teorileri (Mechanism Theories In Removal Of Material)

Mikro taşlama kuvveti; hareket, malzeme ve işlem süreci parametreleri gibi yapısal parametrelerden etkilenmektedir. Yüzeyin R_a değerini azaltma konusu ile çalışan bilim insanları işlem parametrelerine göre özel denklemlerin matematiksel modellemelerini yapmışlardır. Bu başlık altında kesme kuvvetini bulmaya yardımcı denklemler araştırılmıştır. İşlem parametreleri ile taşlama sıcaklığı ve kuvveti arasındaki ilişkilerin ampirik formülleri ortogonal deneylerle hesaplanarak tek faktörlü deneylerin doğruluğu literatürden araştırılmıştır.

Taşlamada Kesme Teorisi (Cutting Theory in Grinding)

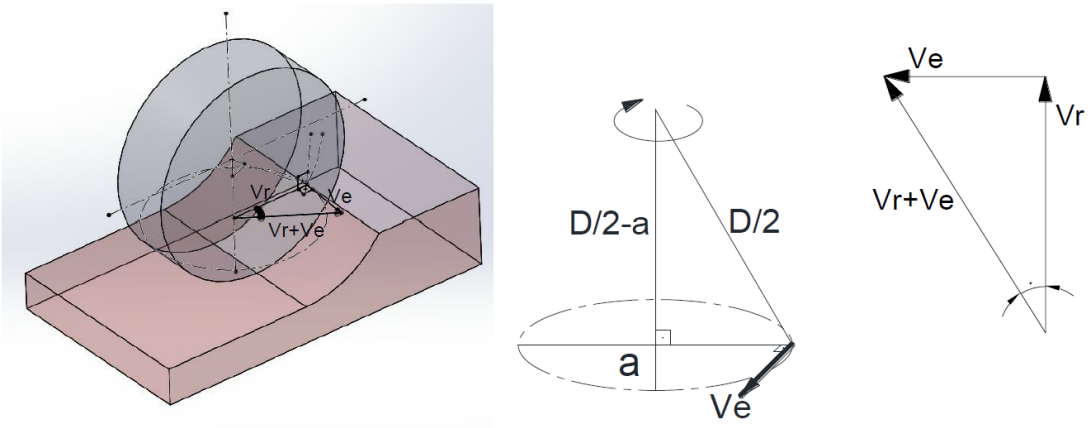
Ulaş ve Demir, taşlama işlemi esnasında yatay ve dikey kuvvet bileşenlerinin değerlerini ölçmüşlerdir. Normal kuvvetin (F_n) yaklaşık olarak 2~2,2 katı F_t olarak sonuca ulaşmışlardır. Bu değerin ana unsuru ise taşın üzerinde bulunan aşındırıcı taneciklerin belirli bir geometriye sahip olmadığı içindir. Bu tanecikler düzenli miktarda talaş kaldıramadığından dolayı mikron düzeyde çıkan talaş, zımpara taşı ile iş parçası arasında sıkışarak basınca neden olmaktadır. Normal (F_n), esas kesme kuvvetinden (F_t) bu nedenle daha büyük olmaktadır. Tabla hızının düşmesi sonucunda, taşlama kuvvetlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Sanayide en fazla düşey milli düzlem yüzey taşlama tezgahları kullanılmaktadır. İş parçası üzerinde doğrusal veya dairesel olarak ilerleyen zımpara taşı kullanılmaktadır [12,82,83]. Mühendislik tasarımında matematik modelleme önemlidir. Taşlama işleminde, talaş oluşumunu hesaplamak için taşlama kuvvetlerinin yönleri (F_t ve F_n) belirlenmelidir. Şekil 12'de düzlem yüzey taşlamanın geometrisi gösterilmiştir. Zımpara taşı ile iş parçası arasındaki temas uzunluğu (I_c), oluşan talaş uzunluğuna eşittir [61,63,84,85].



Şekil 12 (Figure 12). *Taşlamada yüzey geometrisi (Surface geometry in grinding) [61, 63, 84, 85]*

Talaş kuvveti ile derinliği doğru orantılıdır. Düşük kuvvette az miktarda talaş derinliği oluşmaktadır. Temas uzunluğunun (I_c) artması, taşlama kuvvetini daha büyük alana yayarak temas bölgesine uygulanan ısı akısını azaltmıştır [84, 86, 87]. Aşındırıcı tane, iş parçasına temas ettiği anda kesme derinliği sıfır olmaktadır. Silindirik taşlama işleminde, kesme derinliği kademeli olarak artarken en büyük kesme derinliği de zımpara taşının iş parçasını terk ettiği kısımda oluşmaktadır [76].

Adıyaman ve ark.'nın matematik modellemesinde; Düzlem yüzey taşlama yönteminde enerji oluşum ile taşlamadaki gerekli kuvvetin ($F_{taş}$) hesaplamasının matematiksel modellemesi Denklem 1 ve 15 arasında verilmiştir ve Şekil 13'te simüle edilmiştir [88,89];



Şekil 13 (Figure 13). *Zımpara taşının dönme hareketine bağlı eksenel, radyal, bileşke kesme hızı (The axial, radial, and resultant cutting speeds associated with the rotational motion of the grinding wheel)[88,89]*

Harcanan enerji (u) Joule biriminde ve talaş işleme oranı (T.İ.O) değerleri çarpıldığında taşlamadaki gerekli güç (P) Watt biriminde bulunmaktadır (Denklem 1) [88,89];

$$P = u.(T.İ.O) \quad (1)$$

$F_{taş}$ Newton biriminde ve kesme hızı ($V_{taş}$) m/dk birimindeki çarpımları sonucunda taşlama güç (P) değerini N.m/dk biriminde bulunmuştur. Burada talaş kaldırmada zımpara taşının kuvveti ve hızının önemli olduğu ortaya çıkmaktadır (Denklem 2) [88,89];

$$P = F_{Taş} \cdot V_{taş} \quad (2)$$

İş parçasının ilerleme hızını (f) mm/dk, taşın genişliği (b) mm, (a) talaş-kesme derinliği mm birimlerinde çarpılarak T.İ.O değeri mm/dk biriminde bulunmuştur (Denklem 3) [88,89];

$$T.İ.O = f.a.b \quad (3)$$

Denklem 1'de değerler yerine yazılarak $F_{taş}$ denklemi ortaya çıkmıştır (Denklem 4) [88,89];

$$F_{taş}.V_{taş} = u.f.a.b \Rightarrow F_{taş} = \frac{u.f.a.b}{Vtaş} \quad (4)$$

Harcanan enerji miktarı (u), talaş genleşme oranı (r), talaş uzunluğu (l), talaşa dönüşmüş talaş genişliği (w), talaşa dönüşmüş talaş kalınlığı veya derinliği (t) mm ile orantılıdır. U denklemi ortaya çıkmıştır. Taşlama kuvveti katsayısı K_1'dir ve birimsizdir (Denklem 5) [88,89];

$$u = K_1.\frac{1}{t} \tag{5}$$

Denklem 4'teki u değeri çekilip Denklem 5'e eşitlenerek Denklem 6 elde edilmektedir [88,89];

$$u = \frac{F_{taş}.V_{taş}}{f.a.b} \Rightarrow \frac{F_{taş}.V_{taş}}{f.a.b} = K_1.\frac{1}{t} \tag{6}$$

Denklem 6'dan $F_{taş}$ çekilerek Denklem 7 elde edilmektedir. Bu formül Denklem 4'ün açılımı şeklindedir [88,89];

$$F_{taş} = K_1.\frac{1}{t}.\frac{f.a.b}{V_{taş}} \tag{7}$$

Talaş hacmi (T_h), $F_{taş}$ için denklemde önem arz etmektedir. Denklem 8'de gösterilmiştir [88,89];

$$T_h = \frac{1}{4}.w.t \tag{8}$$

Taşın bileşke açısal hızı (W) rad/s birimindeki denklemi 9'da gösterilmiştir [88,89];

$$W = \frac{r}{t} \tag{9}$$

Bileşke talaş uzunluğu (l), talaş genleşme oranı (r), talaşa dönüşmüş talaş derinliği (t), iş parçasının ilerleme hızını (f) mm/dk, taşın genişliği (b) mm, talaş-kesme derinliği (a) mm biriminde, 1 mm^2'de ki aktif (eş-zamanlı kesme yapan) tanecik sayısı (c), 7, 3, 8, 9 denklemlerinin ortak çözümünden Denklem 10 elde edilmiştir [88,89];

$$f.a.b = V_{taş}.c.b.\frac{1}{4}.r.t.t.l \tag{10}$$

Taşlama işleminde etkili talaş uzunluğu (l_r), fener milinin dönme hareketinin kaldırdığı talaşın uzunluğu (l_e) mm birimine bağlı olarak bileşke talaş uzunluğu (l) mm olarak hesaplanmıştır [88,89];

$$l_r = \sqrt{D \cdot a} \tag{11}$$

Fener milinin etkili açısal hızı (w_e), taşın ikinci hareketinin etkili açısal hızı (W_r) rad/s biriminde, taş çapı (D) omak üzere talaşın uzunluğu (l_e) mm biriminde olmuştur (Denklem 12) [88,89];

$$l_e = \sqrt{D \cdot a}\ .\ \frac{w_e.\sqrt{(\frac{D}{2})^2 - (\frac{D}{2} - a)^2}}{W_r.\frac{D}{2}} \tag{12}$$

Bileşke talaş uzunluğu (l) mm olarak hesaplanmıştır (Denklem 13) [88,89];

$$l = \frac{\sqrt{D.a + 4w_e{}^2.a^2.(D-a)}}{w_r.\frac{D}{2}} \tag{13}$$

Denklem 7'yi açarak t'yi açarız. Talaşa dönüşmüş talaş kalınlığı t, l_e değeri ile bileşke talaş uzunluğu l arasında, ihmal edilebilecek düzeyde küçük olduğundan, denklemde bileşke talaş uzunluğu l'nin değeri esas alınmıştır. Talaş uzunluğuna, taş çapına, talaş derinliğine, 1 mm^2'de aşındırıcı tanecik sayısına, talaş genleşme oranına, taşın açısal hızlarına bağlı yazılabilir (Denklem 14) [88,89];

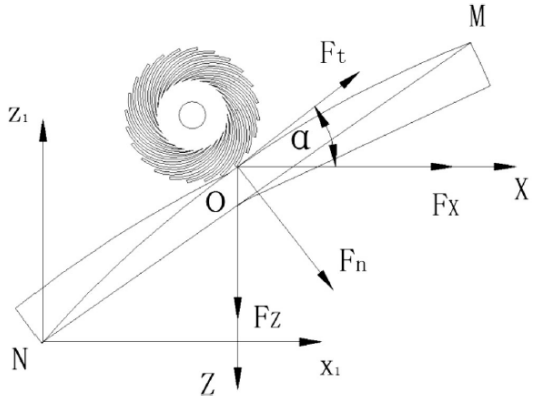
$$t = \sqrt{\frac{4.f.a}{V_{taş}.c.r.\sqrt{\frac{D.a + 4.w_e{}^2.a^2.(D-a)}{w_r{}^2.D}}}} \tag{14}$$

F_n ve F_t kuvvetlerinin bileşkesi $F_{taş}$'ı vermektir. Toplam taşlama kuvveti ($F_{taş}$) birimi Newton'dur. Denklem (1)'de bulunmaktadır. Taşlanacak malzemenin ve kullanılacak taşın özelliklerine bağlı olarak; taşlama kuvveti (K_1) sabitinin değeri 3-11 arasında seçilmektedir (b: Taş genişliği (mm), f: Zımpara taşının ilerlemesi

(mm/dk), a: kesme derinliği (mm), D: Taş çapı (mm), $V_{taş}$: Zımpara taşının kesme hızı (mm/dk), c: 1 mm^2'de aynı anda kesme yapan tanecik sayısı, r: Talaş genleşme oranı, W_e:Fener milinin etkili açısal hızı (rad/sn), W_r: Taşın ikinci hareketinin etkili açısal hızı (rad/sn) [88,89];

$$F_{taş} = K_1.b.\sqrt{\frac{4.f.a}{V_{taş}.c.r.\sqrt{\frac{(D.a)+(4.W_e^2.a^2.(D-a)}{W_r^2\,.\,D}}}} \quad (15)$$

Xian ve ark. Yüzeyi parlatma kuvveti modellemesinde; yüzeyi parlatma kuvveti, mekanizmanın incelenmesinde çok önemlidir. Parlatma kuvveti, kesme kuvveti ve sürtünme kuvveti adı altında ayrıştırılarak matematiksel modellenmesi verilmiştir. Parlatma kuvveti 10 N'den az olduğunda, taşlama yöntemi bu matematiksel modellemeye uygulanabilmektedir. F_X ve F_Z sırasıyla zımpara taşa etki eden X ve Z yönü kuvvetlerini temsil etmektedir. Diferansiyel geometri teorisine göre; MN'nin normal çizgisi yüzeyin normal çizgisiyle çakışır. Böylece normal parlatma kuvvetinin yönü, MN üzerindeki parlatma noktasının normal yönü ile aynıdır. Teğetsel parlatma kuvveti yönü ise MN üzerindeki parlatma noktasının teğet yönü ile aynıdır. Normal yüzeyi parlatma kuvveti F_n'dir ve teğetsel parlatma kuvveti F_t'dir. Denklem 16 ve 17'de verilerek Şekil 14'te simüle edilmiştir [90].



Şekil 14 (Figure 14). *Normal ve teğetsel parlatma kuvvetlerinin hesaplanması için şematik diyagramı (Schematic diagram for calculating normal and tangential polishing forces) [90]*

Düzgün olmayan rasyonel temelli eğri türevlenebilmektedir. $_{x1}N_{z1}$ kordinat sisteminde $z_1 = f(x_1)$ ve $\tan\alpha = f'(x_1)$ alınarak F_t ve F_n yeniden türetilmiştir. Kuvvetlerin bileşimi ve ayrışmasına göre, normal parlatma kuvveti F_n ve teğet parlatma kuvveti F_t şu şekilde verilebilir [90];

$$F_t = F_x.\cos\alpha - F_z.\sin\alpha \quad (16)$$

$$F_n = F_x.\sin\alpha + F_z.\cos\alpha \quad (17)$$

Meng ve ark., taşlama kuvveti, talaş kaldırma oranı, boyut ve şekil doğruluğu, yüzey ve yüzey altı bütünlüğü üzerinde büyük etkiye sahip olduğunu ve taşlama kuvvetinin modellemesinde kullanıldığını literatürde araştırmışlardır. Taşlama kuvvetlerinin doğru tahmini, taşlama parametrelerinin ve taşlama makinelerinin yapısının optimize edilmesi için önemlidir. Taşlama mekaniği üzerine önemli araştırma makaleleri olmasına rağmen literatürde taşlama mekaniğinin modellenmesi üzerine kapsamlı bir inceleme bulunmamaktadır. Bu boşluğu doldurmak için bu çalışma modelleme ilkeleri, sınırlamalar ve gelecekteki olası eğilimler açısından taşlamada mekaniğin teorik yöntemlerini ve uygulamalarını inceleyip sunmuşlardır. Aynı sorun Jamshidi ve ark.'nın modellemesine de yansımıştır. Kuvvet modeli, kırılgan malzemeler için iyi çalışılmamıştır [91].

Hecker ve ark., sünek malzemelerin kesme kuvvet denklemini aktif aşındırıcı tane sayısına göre modellemiştir ancak aşındırıcı tanelerin geometrik şekilleri tam olarak belli olmadığından dolayı yapısal analiz modellemeleri basitleştirilmiştir. Kesme kuvveti (F_n) Denklem 18'de verilmiştir [91-93];

$$F_n = df\frac{Hb\pi D}{2}(D-(D^2-d^2)^{1/2}).(\cos\alpha-f\sin\alpha) \quad (18)$$

Jamshidi ve ark., kesme ve sürtünme kuvvetini (F_n) olarak Denklem 19'da tanımlamışlardır [91,94];

$$F_n = K_{nc}w_c h_{ij}(\theta_{ij}) + K_{ne}w_c \quad (19)$$

Li ve arkadaşlarının kesme teorisi ile ilgili yaptığı çalışmada; taşlama kuvvetlerinin ayrıntılı modelleme metodolojisi, analitik olarak oluşturulup deneysel olarak doğrulanmıştır. Taşlama işlemi sırasında sürtünme, zımpara taşı ile aşınma düzlükleri arasındaki arayüzlerde meydana gelir ve iş parçasının elastik ile plastik deformasyonları ile karakterize edilmektedir. Hemen kesme kuvveti meydana gelmemektedir. Sırı ile sürtünme, kazıma ve kesme kuvvetleri oluşmaktadır. Daha sonra da yüzeyden malzeme kopması olmaktadır. Şekil 15 (a)'nın $F_{nr}^{(i)}$ ve $F_{tr}^{(i)}$ bileşenleri i tanesinin normal/teğet sürtünme kuvvetini (N) Denklem 20 ve 21 de verilmiştir. C_1 ve C_2 deneysel katsayıları denklemlerde kullanılmıştır. HB: İş parçasının Brinell sertlik değeri ($N\cdot m^{-2}$), $d_g^{(i)}$: Tanenin çapı (m), $h_t^{(i)}$: i tanesinin anlık talaş kalınlığı (m) [95];

$$F_{nr}^{(i)} = 2^{3/2}.HB.[d_g^{(i)}]^{3/2}.[h_t^{(i)}]^{1/2} \quad (20)$$

$$F_{tr}^{(i)} = (2^{3/2}.HB.[d_g^{(i)}]^{3/2}.[h_t^{(i)}]^{1/2}).(C_1.\frac{\pi[\%1.d_g^{(i)}]^2}{F_{nr}^{(i)}} + C_2) \quad (21)$$

Şekil 15 (b)'de kazıma kuvvetini hesaplamak için Denklem 22 ve 23 kullanılmaktadır. H_s: iş parçasının çizilme sertliği ($N\cdot m^{-2}$)'dir.

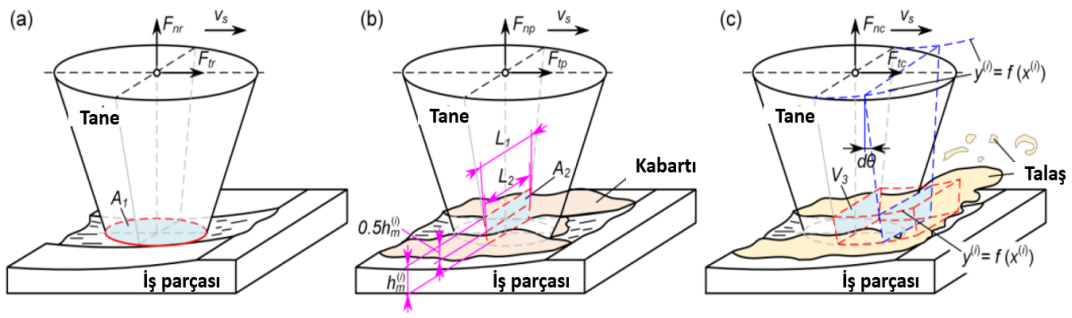
$$F_{tp}^{(i)} = H_s.[\frac{\sqrt{3}}{3}h_t^{(i)} + \%2.d_g^{(i)}].h_t^{(i)} \quad (22)$$

$$F_{np}^{(i)} = \frac{H_s.\left[\frac{\sqrt{3}}{3}h_t^{(i)}+\%2.d_g^{(i)}\right].h_t^{(i)}}{\frac{2}{\pi}\left(\left(\left[\frac{\frac{\sqrt{3}}{3}h_t^{(i)}+\%2d_g^{(i)}}{d_g^{(i)}}\right]^{-2}.\sin^{-1}\left[\frac{\frac{\sqrt{3}}{3}h_t^{(i)}+\%2d_g^{(i)}}{d_g^{(i)}}\right]\right)-\left(\left[\frac{\frac{\sqrt{3}}{3}h_t^{(i)}+\%2d_g^{(i)}}{d_g^{(i)}}\right]^{-2}-1\right)^{\frac{1}{2}}\right)} \quad (23)$$

Şekil 15(c)'te kesme aşamasının talaş oluşumu ve iş parçası malzemesinin uzaklaştırılması ile ilgili olduğu düşünülmektedir. Kesme aşaması sırasında hareketli kesici tarafından indüklenen normal kuvvetler şu şekilde temsil edilebilir (Denklem 24 ve 25):

$$F_{nc}^{(i)} = \frac{\sqrt{28}}{3}.[h_t^{(i)}]^2.HB \quad (24)$$

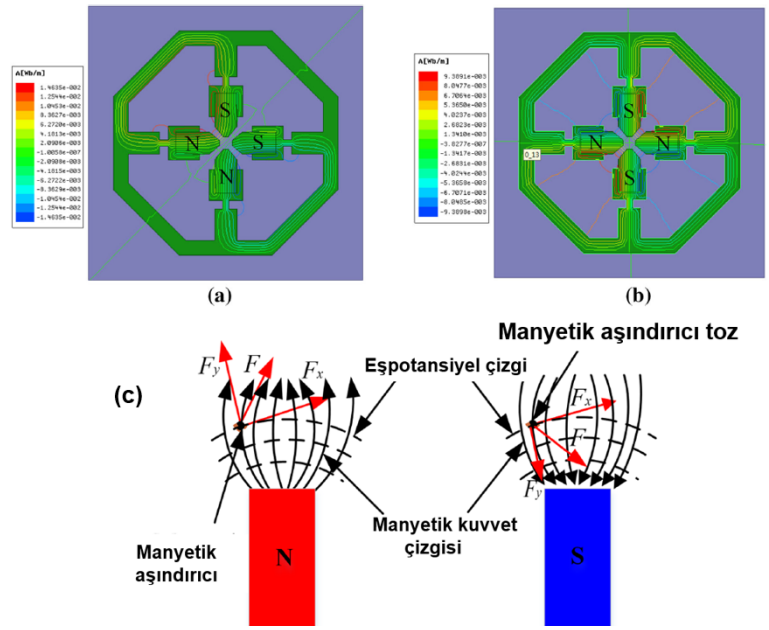
$$F_{tc}^{(i)} = \frac{\sqrt{28}}{3}.[h_t^{(i)}]^2.HB.\frac{\pi}{4.\tan 60°} \quad (25)$$



Şekil 15 (Figure 15). *Tane-iş parçası taşlama modeli; (a) sürtünme, (b) kazıma, (c) kesme aşamaları(Particle-workpiece grinding model; (a) friction, (b) abrasion, (c) cutting stages) [95]*

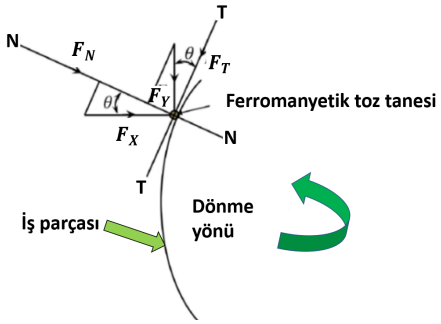
MAİ İşlemindeki Kesme Teorisi (Cutting Theory in the MAF Process)

Manyetik yoğunluk, işleme verimliliğini doğrudan belirlemektedir. Maxwell yazılımı kullanılarak manyetik alan içinde kuvvet simülasyonları gerçekleştirilmektedir. Şekil 16'da manyetik kutuplar fan şeklinde dizilmiştir. Şekil 16(a)'da N-N-S-S düzenlemesi sonucunda iki kapalı döngüde manyetik alan ortaya çıkmıştır. Şekil 16(b)'de ise N-S-N-S düzenlemesi ortaya çıkmıştır. Dört kapalı döngüdeki manyetik akı yoğunluğu daha fazla olduğundan dolayı bünyesinde daha fazla aşındırıcı toz bulunduracaktır. Şekil 16(c)'de ise manyetik akı yoğunluğunda bulunun aşındırıcı tanecik yapı, N ve S kutupları arasında olursa kesme kuvvetinin bileşenlerinin konumlarının görünümü verilmiştir [96].



Şekil 16 (Figure 16). *Dört manyetik kutup; (a) N-N-S-S, (b) N-S-N-S düzenlemesi, (c) alan çizgileri(Four magnetic poles; (a) N-N-S-S arrangement, (b) N-S-N-S arrangement, (c) field lines) [96]*

Aşındırıcı tane manyetik kuvveti, işleme kuvveti olarak görev yapmaktadır. Manyetik alan oluşturan kutup uçları (N, S) arasında yüksek hızda dönen silindirik iş parçası yerleştirildiğinde manyetik aşındırıcı toz karışımı iş parçası yüzeyinden aşındırma işlemi yapmaktadır. Düzlem yüzeyin MAİ yönteminde teğetsel kuvvetin yerine merkezkaç kuvvet yer almaktadır [21,97,98]. Yüzey pürüzlülüğünün azaltılması işleminde; iş parçası yüzeyi üzerindeki aşındırıcı taneciğe normal doğrultuda bir F_N kuvveti gelmektedir. Talaş kaldırma direnç kuvveti (R_T) oluşmuştur. Direnç kuvvetine ters yönde etki eden teğetsel kuvvet (F_T), mikro talaş kaldırmak için R_T'den büyük olmalıdır [42,47,49]. MAİ işleminde aşındırıcı toza etki eden mekanik kuvvet (F_x ve F_y) vektörleri Şekil 17'de gösterilmiştir. İş parçası yüzeyinden talaş kaldırmayı F_x kuvvet vektörü sağlamaktadır. Eş potansiyel kuvvet çizgileri boyunca ise F_y kuvvet vektörü sağlamaktadır [42,99,100].



Şekil 17 (Figure 17). *Manyetik kuvvet vektörleri (Magnetic force vectors) [42,99,100]*

Judal ve Yadava'nın MAİ yöntemindeki kesme kuvvetinin matematiksel modellenmesinde, F_x ve F_y

manyetik alan kuvvet vektörlerinin matematiksel modellenmesi Denklem 2 ve 3'te verilmiştir. χ^{FP}; aşındırıcı taneciğin manyetik hassasiyetini, μ_0; havanın manyetik geçirgenlik katsayısını, V; manyetik aşındırıcı tanelerin hacmini, H; işleme bölgesindeki manyetik alan yoğunluğunu simgelemektedir. (Φ) düğüm değerleri; H, d_H/d_X ve d_H/d_Y değerleri ile temas yüzeyine yakın Gauss noktalarında hesaplanmaktadır. X ve Y yönü boyunca ferromanyetik parçacık (FP) üzerine etki eden kuvvetlerin manyetik alanda FP'ye etki eden kuvvetler olarak şu şekilde bulunmuştur: μ_0: Yerin geçirgenliği, χ_m: Manyetik aşındırıcı parçacıkların duyarlılığı, V: ferromanyetik parçacık hacmi, H: Manyetik akı yoğunluğu (Denklem 26 ve 31 arası) (Şekil 18). [100-102];

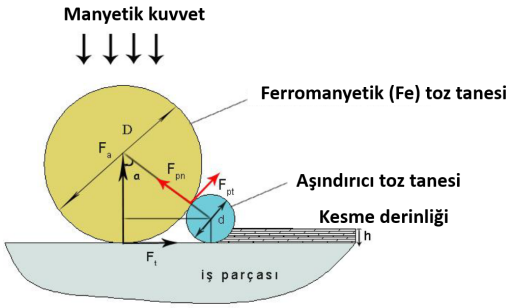
$$F_x = {\chi_m}^{FP} \mu_0 VH\left(\frac{\partial H}{\partial x}\right) \quad (26)$$

$$F_y = {\chi_m}^{FP} \mu_0 VH\left(\frac{\partial H}{\partial y}\right) \quad (27)$$

μ_m : Manyetik aşındırıcı parçacıkların bağıl geçirgenliği, μ_{ABR} : Aşındırıcıların bağıl geçirgenliği, μ_{FP} : Ferromanyetik parçacığın bağıl geçirgenliği (Şekil 18) [21,103];

$$\chi_m = \mu_m - 1 \quad (28)$$

$$\mu_m = \alpha\mu_{FP} + (1-\alpha).\ \mu_{ABR} \quad (29)$$



Şekil 18 (Figure 18). *Ferromanyetik tozun mekanik modeli (The mechanical model of ferromagnetic powder) [21,103]*

H ve türevlerinin değerleri, gauss noktalarında düğüm noktalarından daha doğrudur. Bu nedenle, sekiz düğümlü dörtgen elemanın yaklaşık uzunluğu, temas yüzeyindeki her bir FP'nin merkezi yaklaşık olarak gauss noktası üzerinde olacak şekilde, FP boyutunun bir fonksiyonu seçilir. Asıl amaç; kesme kuvvetinin bileşenleri olan F_N (normal kesme kuvveti) ve F_T (teğetsel kesme kuvveti) bileşenlerini bulan Denklem (30 ve 31): Hem F_N hem de F_T, büyüklük ve yön olarak doğası gereği uzlamsaldır (Şekil 18) [21,103].

$$F_N = F_X.\cos\theta + F_Y.\sin\theta \quad (30)$$

$$F_T = -F_X.\sin\theta + F_Y.\cos\theta \quad (31)$$

Chen ve ark.'nın MAİ yöntemindeki kesme kuvvetinin modellenmesinde, ferromanyetik ve aşındırıcı toz karışımı kullanılarak iş parçası üzerinde sürtünme kuvvetinin mekaniksel Denklemler 32 ve 35'in arasında verilmiştir. Şekil 18'de görüldüğü gibi ferromanyetik ve aşındırıcı parçacığın sürtünme katsayısı dikkate alındığında kuvvetin denge denklemi x ekseni ve y ekseni yönünde sonraki denklemlerle birlikte yazılmalıdır. (F_a: Yüzeyin uyguladığı dik kuvvet, F_t: Yüzeyin uyguladığı yatay kuvvet, F_{pn}: Aşındırma kuvveti, F_{pt}: Sürtünme kuvveti) [89]. Sürtünme katsayısı, ferromanyetik ve aşındırıcı tozların x ve y eksen yönlerindeki kuvveti kullanarak sürtünme kuvvetin (F_{pt}) ve yüzeyin uyguladığı yatay kuvvet (F_t)'nin matematiksel modeli Denklem 32 ve 33'te verilmiştir. (μ_p; iş parçası ve aşındırıcı toz arasındaki sürtünme katsayısını, μ_w; ferromanyetik toz ve iş parçası arasındaki sürtünme katsayısını simgelemektedir) [21,103]. μp: aşındırıcı parçacık ile iş parçası arasındaki sürtünme katsayısıdır; μw: ferromanyetik parçacık ile iş parçası arasındaki sürtünme katsayısıdır. F_0: ilk kuvvettir.

$$F_{pt} = F_{pn} \times \mu_p \quad (32)$$

$$F_t = F_a \times \mu_w \quad (33)$$

F_x ve F_y manyetik alan kuvvet vektörlerinin matematiksel modellenmesi Denklem 34 ve 35'te verilmiştir.

$$\sum F_x = F_t - F_{pn}\sin\alpha + F_{pt}.\cos\alpha = 0 \quad (34)$$

$$\sum F_y = F_0 - F_a\cos\alpha + F_{pt}.\sin\alpha = 0 \quad (35)$$

MAİ VE TAŞLAMA YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Okuyucu tarafından daha iyi anlaşılır olmasını sağlamak amacıyla literatür çalışmaların özetlenmesi Tablo 2 ve 3'te verilmiştir. Burada; kullanılan malzemeler, kesme kuvvetlerinin matematiksel modellemeleri vb. konularını izah ederek kapsamlı bir şekilde anlatılması yapılmıştır. Matematiksel modellemeler deneylerin sonucunda ortaya çıkmaktadır. Buradaki kesme kuvvet denklemlerinde deneylerin işlem tekniklerinin etkili olduğu görülmektedir [1-104].

Tablo 2. *Matematiksel modellemelerin karşılaştırılması (Comparison of mathematical models) [88, 89, 92-94, 101-104]*

Parametre(Parameter)	MAİ Yöntemi(MAF Method)	Taşlama Yöntemi(Grinding Method)
Kesme kuvveti matematiksel modeli (The mathematical model of cutting force)	**Judal ve Yadava**, F_N (normal kesme kuvveti) ve F_T (teğetsel kesme kuvveti) bileşenlerinin denklemi (The equation for F_N (normal cutting force) and F_T (tangential cutting force) components) [101]: $F_N = F_X.\cos\theta + F_Y.\sin\theta$ $F_T = -F_X.\sin\theta + F_Y.\cos\theta$ **Chen ve ark.,** F_x ve F_y manyetik alan kuvvet vektörleri (Fx and Fy magnetic field force vectors) [103]: $\sum F_x = F_t - F_{pn}\sin\alpha + F_{pt}.\cos\alpha = 0$ $\sum F_y = F_0 - F_a\cos\alpha + F_{pt}.\sin\alpha = 0$	**Adıyaman ve ark.,** F_n ve F_t kuvvetlerinin bileşkesi Taşlama kuvveti; $F_{taş}$ (The resultant of F_n and F_t forces is the grinding force; F_{grind}) [88, 89]; $K_1.b.\sqrt{\frac{4.f.a}{V_{taş}.c.r.\sqrt{\frac{(D.a)+(4.W_e^2.a^2.(D-a)}{W_r^2.D}}}}$ **Xian ve ark.,** normal parlatma kuvveti F_n ve teğet parlatma kuvveti F_t (Normal polishing force F_n and tangential polishing force F_t)[98] ; $F_t = F_x.\cos\alpha - F_z.\sin\alpha$ $F_n = F_x.\sin\alpha + F_z.\cos\alpha$ **Hecker ve ark.,** Kesme kuvveti (F_n) (Cutting force (F_n)) [92, 93]; $F_n = df\frac{Hb\pi D}{2}(D-(D^2-d^2)^{1/2}).(\cos\alpha-\text{fsin}\alpha)$ **Jamshidi ve ark.,** kesme ve sürtünme kuvveti (F_n) (Cutting and friction force (Fn)) [94, 104]; $F_n = K_{nc}w_c h_{ij}(\theta_{ij}) + K_{ne}w_c$ **Li ve ark. [103],** Kesme kuvveti (Cutting force); $F_{nc}^{(i)} = \frac{\sqrt{28}}{3}.[h_t^{(i)}]^2.HB$ $F_{tc}^{(i)} = \frac{\sqrt{28}}{3}.[h_t^{(i)}]^2.HB.\frac{\pi}{4.\tan 60°}$

Tablo 3'te her iki yöntemde de kullanılan aşındırıcı malzemeler verilmiştir. Aynı aşındırıcı tanecikleri taşlamada kullanırken, taşlamada aşındırıcı taneler zımpara taşına yapışırken MAİ yönteminde manyetik alanın etkisi ile esnek hale dönmektedir [1-104].

TARTIŞMA VE SONUÇLAR (DISCUSSION AND CONCLUSIONS)

2020 yılının imalat sektörü verilerine göre %25'lik pay ile taşlama yöntemi diğer yöntemlere göre ilk sırada yer almıştır. Ferro-aşındırıcı kompozit toz karışımındaki manyetik bileşen miktarı, hacimce aşındırıcı tozlara göre %60 'tan yüksek olmalıdır. Tian ve ark., taşlama yöntemini kullanarak Inconel718 iş parçasının işlenmesinde dönüş hızı 240 dev/dk olduğunda R_a: 0,473'ten 0,153 µm 'ye düşmüştür [67]. Song ve ark., MAİ yöntemini kullanarak elmas ve Fe toz karışımı ile 30 dk boyunca Ti-6Al-4V alaşımından oluşan 2000 dev/dk işleme hızında R_a: 0,53 µm olurken 1250 dev/dk hızda R_a: 0,117 µm değerlerine düştüğünü gözlemiştir [82]. Burada, uçak ve uzay endüstrisinde, ticari kullanımı olan süper alaşımlar arasında en çok kullanılan malzeme olan Inconel718 nikel alaşımının daha pürüzlü bir yüzey olduğu görülmektedir. Bu nedenden dolay hassas işlemenin olması önem arz etmektedir. MAİ yönteminde R_a değerlerinin, taşlama yöntemine göre düşmesi de yöntemin önemini arttırmaktadır. Kaplama yapılan parçalara da MAİ yöntemi uygulanabilir. MAİ yöntemi,

Tablo 3. *Malzeme ve yüzey işleme yöntemlerin karşılaştırılması (Comparison of materials and surface processing methods) [12,16-18,42,72]*

Parametreler (Parameters)	**MAİ Yöntemi (MAF method)**	**Taşlama Yöntemi (Grinding method)**
Kullanılan aşındırıcı malzemeler (The abrasive materials used)	Ferromanyetik (demir (Fe) ve Al_2O_3) aşındırıcı tozları kullanılır (Ferromagnetic (iron (Fe) and Al_2O_3) abrasive powders are used) [72]	Zımpara taşında; elmas, Al_2O_3, SiC, CBN aşındırıcı tozları, %54 aşındırıcı toz taneler, %26 bağlayıcı eleman ve %20 boşluk vardır (In the grinding wheel; there are diamond, Al_2O_3, SiC, and CBN abrasive powders with 54% abrasive grains, 26% bonding agents, and 20% porosity) [16-18]
Yüzey işleme çeşitleri (Types of Surface Treatment)	Elektro-mıknatıs veya Sabit mıknatıs *etkisiyle* silindirik iç yüzey, silindirik dış yüzey, düzlem yüzey, serbest formlu yüzey işleme (Cylindrical internal surface, cylindrical external surface, flat surface, and free-form surface machining using electro-magnet or permanent magnet effects) [42]	Silindirik, konik, krank, Puntasız, Düzlem yüzey, Dalma, Profil, Elektrokimyasal taşlama (Cylindrical, conical, crank, centerless, flat surface, plunge, profile, electrochemical grinding) [12]

hassas ve karmaşık parçalarda olumlu sonuçlar vermekle beraber bazı sınırlamaları da mevcuttur. Manyetik alan dışına çıkan aşındırıcı tozlar ise parlaklığın elde edilmesinde olumsuz etki etmektedir. Yüzeyin pürüzlü olması istenmeyen durum olmuştur. MAİ yönteminde esnek fırça şeklinde talaş kaldırma yaparak, yüzeyin daha az hasar görmesi sağlanmaktadır.

Taşlamada kullanılan sert taş yüzeyi olduğundan dolayı yüzey deformasyonlarının MAİ yöntemine göre daha fazla olacağı literatürde görülmüştür. Yüzeydeki kesme kuvvetlerinin doğru tahmini, taşlama parametrelerinin ve taşlama makinelerinin optimize edilmesi için önemlidir. MAİ yönteminde; düzgün ve doğrusal olmayan manyetik alanın bir bölgesinde bulunan bir para-manyetik topa benzer yapıya etki eden manyetik kuvveti hesaplamak için denklemin türetilmesini sunmaktadır. Taşlama ve MAİ yöntemi de yüzey üzerinde hassas şekilde parlatma yaptığı için yüzey pürüzlülük, talaş kaldırma oranı, işleme boşluğu, tanecik şeklindeki taş çapı, parlatma hızı deneysel parametreler her iki işleme yönteminde de benzer etkileri yapmaktadır. Kesici aşındırıcı taneler, sert çelik yüzeylerin parlatılmasında kullanılmaktadır. Geleneksel ve geleneksel olmayan parlatma işlemlerinde kullanılan aşındırıcı malzemeler aynıdır. Sadece birisinde sabitken diğerinde esnektir. Geleneksel malzemelerin ileri teknoloji uygulamalarına uyumlu olarak performanslarının arttırılması sonucunda imalat sektöründe, yüzey pürüzlülüğü azalarak hassas yüzey parlatma işlemlerdeki bilimsel ve teknolojik son gelişmeleri, zengin bir kaynakçaya dayandırılıp aktarılarak bu konu üzerinde çalışanlara da kolaylık sağlanması amacıyla yazılmıştır. Yüzeyi parlatma işlemindeki kesme kuvveti üzerine önemli araştırma makaleleri olmasına rağmen, literatürde MAİ ve taşlama yöntemlerindeki kesme kuvvetinin modellenmesi üzerine kapsamlı bir inceleme bulunmamaktadır. Bu boşluğu doldurmak için bu çalışma modelleme ilkeleri, sınırlamalar ve uygulamaları inceleyip sunulmuştur. Her bilimsel çalışmada**,** zaman içinde görülen eksikliklerin ileri ki çalışmalarda görülmemesi için sunulabilecek öneriler aşağıda verilmiştir;

- Kuvvetin ölçülmesine yönelik deneysel bir ayar açıklanmaktadır. Çok kutuplu bir sistem durumunda manyetik alan kuvveti hesaplaması için analitik ifadeler literatürde deneysel yollarla türetilmiştir. Onların yardımıyla, bu durumda manyetik alan davranışının farklı önemli özellikleri açıklanabilecektir.
- Taşlamada kuvvetli rulman seçimi ve buna bağlı olarak daha hassas yataklamanın yapılması sonucunda talaş derinliklerindeki kararsızlıklar giderilebilir.
- Taşlamadaki zımpara taşı devirleri ile iş parçaları işlenerek numunelerin yüzey pürüzlülüklerine taş devrinin etkilerine bakılabilir.
- Taşlama ve MAİ yönteminde; aynı parametrelerde işlenmiş numunelerin yorulma ve aşınma dayanımı mekanik özellikleri karşılaştırılabilir. Farklı aşındırıcı tanecikler de kullanılarak etkileri değerlendirilebilir.
- MAİ yönteminde sabit yerine elektro-mıknatıslar kullanılarak manyetik alan şiddeti kontrol edilebilir.

KAYNAKÇA (REFERENCES)

[1] Talaş Kaldırma Yöntemlerinin Sınıflandırılması, (Erişim: 11 Nisan 2023); https://docplayer.biz.tr/4688114-Talasli-imalat-talas-kaldirma-yontemlerinin-siniflandirilmasi-1-geleneksek-talasli-imalat-1a-tornalama-ve-iliskili-operasyonlar.html

[2] M. P. Groover, 21. Chapter; Theory of Metal Machining, *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems, 7th ed., New Jersey, USA: John Wiley & Sons,* (2020), 485-500. ISBN: 978-0470-467002. (Date of Access: 24 June 2023); https://www.fcusd.org/cms/lib/CA01001934/Centricity/Domain/4529/Fundamentals%20of%20Modern%20Manufacturing%20Materials%20%20Processes%20and%20Systems%20%204th%20Edition.pdf

[3] Talaşlı İmalat, (Erişim: 11 Nisan 2023); http://web.hitit.edu.tr/dosyalar/materyaller/eminerdin@hititedutr110520185B2N4W5Y.pdf

[4] V. K. Jain, V. Sidpara, M.R. Sankar, M. Das, Nano-Finishing Techniques: A Review, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 226(1) (2011), 327-346. Doi: 10.1177/0954406211426948

[5] H. Demir, A. Güllü, U. Şeker, Düzlem Taşlama İşleminde Taşlama Kuvvetlerinin Ölçülmesi için Bir Dinamometre Tasarımı ve İmalatı, *Teknoloji,* 9(2) (2006), 111-118. Doi: 10.12739/NWSA.2017.12.4.2A0127

[6] R. Rekha, S. Vinoth Kumar, V. Aravinth Raj, B. Aswin Baboo, P. Gokul Raj, A. Jai Vignesh, Optimization of Cylindrical Grinding Process Parameters on Austenitic Stainless Steel 304 Using Taguchi Based Grey Relational Analysis, *Materials Today: Proceedings,* 72(4) (2023), 2569-2573, Doi: 10.1016/j.matpr.2022.10.120

[7] S. Jha, V. K. Jain, 8. Chapter; Nano-Finishing Techniques, *Micro-manufacturing and Nanotechnology, Springer Publishing, Berlin, Heidelberg,* (2006), 171-195. (Date of Access: 24 June 2023); https://link.springer.com/chapter/10.1007/3-540-29339-6_8

[8] H. K. Tonshoff, B. Karpuschewski, T. Mandrysch, Grinding Process Achievements and Their Consequences on Machine Tools Chalenges and Opportunities, *Annals of CIRP,* 47(2) (1998), 651-668. Doi: 10.1016/S0007-8506(07)63247-8

[9] H. Ding, J. Yang, W. Wang, J. Guo, Q. Liu, Characterization and Formation Mechanisms of Rail Chips from Facing Grinding by Abrasive Wheel, *Journal of Manufacturing Processes,* 73(1) (2022), 544-554. Doi: 10.1016/j.jmapro.2021.11.032

[10] V. Gopan, K. L. D. Wins, A. Surendran, Integrated ANN-GA Approach for Predictive Modeling and Optimization of Grinding Parameters with Surface Roughness as the Response, *Materials Today: Proceedings,* 5(5) (2018), 12133-12141. Doi: 10.1016/j.matpr.2018.02.191

[11] O. Adıyaman, F. Sönmez, Yeni Tip Taşlama Yönteminde Taşlama Parametrelerinin Deneysel Tasarım Yöntemi ile Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkisinin İncelenmesi, *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi,* 9(1) (2020), 215-225. Doi: 10.17798/bitlisfen.544248

[12] O. Adıyaman, Geliştirilen İkincil Dönel Eksenli Taşlama Mekanizması ile Düzlem Yüzey Taşlama İşleminde Kesme Parametrelerinin Araştırılması, Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı,* Elazığ, Türkiye, 2015.

[13] J. Zhang, J. Liu, S. Yang, C. Ju, J. Li, Z. Qiao, A Model for Material Removal of Robot-Assisted Blade Polishing Using Abrasive Cloth Wheel, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,* 123(7-8) (2022), 1-13. Doi: 10.1007/s00170-022-10239-7

[14] S. Cai, W. Liu, J. Song, K. Deng, Y. Tang, Research and Progress on Truing and Sharpening Process of Diamond Abrasive Grinding Tools, *Applied Sciences*, 12(9) (2022), 4683-4694. Doi: 10.3390/app12094683

[15] L. Lv, Z. Deng, T. Liu, Z. Li, W. Liu, Intelligent Technology in Grinding Process Driven by Data: A Review, *Journal of Manufacturing Processes,* 58(17) (2020), 1039-1051. Doi: 10.1016/j.jmapro.2020.09.018

[16] M. Zeyveli, A. Güldaş, Taşlama Operasyonları için Uzman Sistem Destekli Zımpara Taşı Seçimi, *Teknoloji,* 7(2) (2004), 241-249. (Erişim: 11 Nisan 2023); https://jestech.karabuk.edu.tr/arsiv/1302-

0056/2004/Cilt%287%29/Sayi%282%29/241-249.pdf

[17] Md Amir, R. Sharma, V. Mishra, S. Wazed Ali, G. S. Khan, Polishing Performance of Magnetic Nanocomposites Based Nanoabrasive, Materials Today Proceedings, 56(1) (2022), 549-554. Doi: 10.1016/j.matpr.2022.02.276

[18] A. Wahab Hashmi, H. Singh Mali, et al., Understanding the Mechanism of Abrasive-Based Finishing Processes Using Mathematical Modeling and Numerical Simulation, *Metals,* 12(8) (2022), 3-65. Doi: 10.3390/met12081328

[19] Fundamentals of Hard Turning, (Date of Access: 24 June 2023); http://cdn2.hubspot.net/hub/139128/file-17761415- pdf/docs/gos_wp_hardturning_f.pdf4

[20] Taşlama İşlemleri, (Erişim: 11 Nisan 2023); https://tf.selcuk.edu.tr/dosyalar/files/033003/5_taslama_islemleri.pdf

[21] Ö. Salman, Manyetik Aşındırıcılar ile Yüzey İşleme, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi,* 11(1) (2014), 1-10. (Erişim: 11 Nisan 2023); https://docplayer.biz.tr/15702465-Manyetik-asindiricilar-ile-yuzey-isleme.html

[22] V. K. Jain, Magnetic Field Assisted Abrasive Based Micro/Nano Finishing, *Journal of Materials Processing Technology,* 209(20) (2009), 6022-6038. Doi: 10.1016/j.jmatprotec.2009.08.015

[23] H. Demir, Alüminyum Oksit Zımpara Taşlarıyla Silindirik Taşlamada Çeşitli Çelikler için Taşlama Oranlarının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı,* Ankara, Türkiye, 1998.

[24] M. J. Jackson, C. J. Davis, M. P. Hitchiner, B. Mills, High-Speed Grinding with CBN Grinding Wheels – Applications and Future Technology, *Journal of Materials Processing Technology,* 110(1) (2001), 78-88. Doi: 10.1016/S0924-0136(00)00869-4

[25] L. Slătineanu, O. Dodun, G. Nagîț, M. Coteață, I. Beșliu, A Review on Magnetic Abrasive Machining, *Romanian Association of Nonconventional Technologies Review,* 21(2) (2017), 10-21. (Date of Access: 24 June 2023); http://www.revtn.ro/index.php/revtn/article/view/184

[26] H. Demir, A. Güllü, Taşlamada Parametrelerin Etkisi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi,* 7(2) (2001), 189-198. (Erişim: 11 Nisan 2023); https://dergipark.org.tr/tr/pub/pajes/issue/20536/218801

[27] H. Demir, A. Güllü, Taş Dokusunun Yüzey Pürüzlülüğü ve Taşlama Kuvvetlerine Etkilerinin İncelenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimimarlık Fakültesi Dergisi,* 23(1) (2008), 77-83. (Erişim: 11 Nisan 2023); https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/75510

[28] H. Demir, A. Güllü, İ. Çiftci, U. Şeker, An Investigation into the Influences of Grain Size and Grinding Parameters on Surface Roughness and Grinding Forces when Grinding, *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering,* 56(7-8) (2010), 447-454. (Date of Access: 24 June 2023); https://www.sv-jme.eu/article/an-investigation-into-the-influences-of-grain-size-and-grinding-parameters-on-surface-roughness-and-grinding-forces-when-grinding/

[29] X. Chen, W. Brian, Analysis and Similation of The Grinding Process, Part III: Comparasion With Experiment, *International Journal of Machine Tools&Manufacture, Pergaman,* 36(8) (1996b) 897-906. (Date of Access: 24 June 2023); https://researchonline.ljmu.ac.uk/id/eprint/7083/9/Analysis%20of%20grinding%20surface%20creation%20by%20single%20grit%20approach.pdf

[30] H. Masoumi, S. M. Safavi, M. Salehi, Grinding Force, Specific Energy and Material Removal Mechanism in Grinding of HVOF-Sprayed WC–Co–Cr Coating, *Materials and Manufacturing Processes,* 29(3) (2014), 321-330. Doi:10.1080/10426914.2013.872261

[31] E. Brinksmeier, J. C. Aurich, et al., Advances in Modeling and Simulation of Grinding Processes, *CIRP Annals,* 55(2) (2006), 667-696. Doi: 10.1016/j.cirp.2006.10.003

[32] J. Kopac, P. Krajnik, High-Performance Grinding—A Review, *Journal of Materials Processing Technology*, 175(1–3) (2006), 278-284. Doi: 10.1016/j.jmatprotec.2005.04.010

[33] Y. Li, Y. Liu, Y.Tian, Y. Wang, J. Wang, Application of Improved Fireworks Algorithm in Grinding

Surface Roughness Online Monitoring, *Journal of Manufacturing Processes,* 74(1) (2022), 400-412. Doi: 10.1016/j.jmapro.2021.12.046

[34] Ş. Baday, H. Başak, F. Sönmez, The Assessment of Cutting Force with Taguchi Design in Medium Carbon Steel–Applied Spheroidization Heat Treatment, *Measurement and Control,* 50(4) (2017), 89-96. Doi: 10.1177/0020294017713767

[35] A. Kumar Singh, A. Kumar, V. Sharma, P. Kala, Sustainable Techniques in Grinding: State of The Art Review, *Journal of Cleaner Production,* 269(1) (2020), 121876-121892. Doi: 10.1016/j.jclepro.2020.121876

[36] F. Hashimoto, H. Yamaguchi, P. Krajnik, K. Wegener, R. Chaudhari, H. W. Hoffmeister, F. Kuster, Abrasive Fine-Finishing Technology, *CIRP Ann.-Manufacturing Technology,* 65(2) (2016), 597-620. Doi: 10.1016/j.cirp.2016.06.003

[37] M. Çelik, Manyetik Aşındırıcılarla İşleme Yönteminde İç Yüzeylerin İşlenebilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği İmalat Teknolojileri Anabilim Dalı,* Elazığ, Türkiye, 2017.

[38] Aşınma Çeşitleri, (Erişim: 11 Nisan 2023); https://insapedia.com/asinma-nedir-asinma-cesitleri-ve-etki-eden-faktorler/

[39] B. Singh, C. Kalra Singh, Optimization of Magnetic Abrasive Finishing Parameters During Finishing of Brass Tube, *International Research Journal of Enginerring and Technology (IRJET),* 2(4) (2015), 1810-1817. Doi: 10.1007/978-81-322-1859-3_25

[40] B. Girma, S. S. Joshi, M. V. G. S. Raghuram, An Experimental Analysis of Magnetic Abrasives Finishing of Plane Surfaces, *Machining Science and Technology,* 10(3) (2006), 323–340. Doi: 10.1080/10910340600902140

[41] M. Sharma, D. P. Singh, To Study the Effect of Various Parameters on Magnetic Abrasive Finishing, *International Journal of Research in Mechanical Engineering & Technology-IJRMET,* 3(2) (2013), 212-215. (Date of Access: 24 June 2023); https://typeset.io/pdf/to-study-the-effect-of-various-parameters-on-magnetic-2fporjl33p.pdf

[42] M. Çelik, Elektro-erozyon Yöntemiyle İşlenmiş Ti6Al4V Alaşımının Yüzey Kalitesinin Manyetik Aşındırıcılarla İşleme Yöntemiyle İyileştirilmesi, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı,* Ankara, 2021.

[43] M. Fox, K. Agrawal, T. Shinmura, R. Komanduri, Magnetic Abrasive Machining of Rollers, *Annals of the CIRP*, 43(1) (1994), 181-184. Doi: 10.1016/S0007-8506(07)62191-X

[44] X. Sun, Y. Zou, Development of Magnetic Abrasive Finishing Combined with Electrolytic Process for Finishing SUS304 Stainless Steel Plane, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,* 92(1) (2017), 3373–3384. Doi:10.1007/s00170-017-0408-9

[45] T. Mori, K. Hikota, Y. Kawashim, Clarification of Magnetic Abrasive Finishing Mechanism, *Journal of Material Processing Technology,* 143(20) (2003), 682-686. Doi:10.1016/S0924-0136(03)00410-2

[46] H. Yamaguchi, T. Shinmura, M. Takenaga, Development of a New Precision Internal Machining Process Using an Alternating Magnetic Field, *Precision Engineering,* 27(1) (2003), 51-58. Doi:10.1016/S0141-6359(02)00177-0

[47] Z. Song, Y. Zhao, G. Liu, Y. Gao, X. Zhang, C. Cao, D. Dai, Y. Deng, Surface Roughness Prediction and Process Parameter Optimization of Ti-6Al-4V by Magnetic Abrasive Finishing, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,* 122(1) (2022), 219–233. Doi:10.1007/s00170-022-09354-2

[48] İmalat İşlemleri, (Erişim: 11 Nisan 2023); https://www.fikriyat.com/akademik-haberler/2018/03/27/imalat-islemleri-ders-notlari

[49] B. P. Kheelan, K. M. Patel, Magnetic Abrasive Finishing of AISI52100, *International Journal of Trend in Research and Development,* 1(1) (2014), 1-8. Doi: 10.1007/s00170-010-3102-8

[50] T. Rasuljon, A. Sulaymanov, G. Madaminova, S.U Agzamov, Grinding of Materials: Main Characteristics, *International Journal of Advance Scientific Research,* 2(11) (2022), 25-34, Doi: 10.37547/ijasr-02-11-05

[51] P. Gondi, G. Mattogno, A. Sili, G. Foderaro, Structural Characteristics at Surface and Barkhausen Noise in

AISI 4340 Steel After Grinding, *Nondestructive Testing and Evaluation,* 10(1) (1993), 255-267. Doi: /10.1080/10589759308952800

[52] Z.W. Zhong, V.C. Venkatesh, Recent Developments in Grinding of Advanced Materials, *Int J Adv Manuf Technol,* 41(1) (2009), 468–480 Doi:10.1007/s00170-008-1496-3

[53] O. Adıyaman, V. Savaş, İkincil Dönel Eksenli ile Klasik Düzlem Yüzey Taşlama Mekanizmalarının Deneysel Araştırılması, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi,* 11(4) (2014), 21-36. Doi: 10.29130/dubited.994072

[54] T. Shinmura, K. Takazawa, E. Hatano, M. Matsunaga, T. Matsuo, Study on Magnetic Abrasive Finishing, *CIRP Annals,* 39(1) (1990), 325-328. Doi: 10.1016/S0007-8506(07)61064-6

[55] H. Dilipak, M. Gülesin, Torna Operasyonları için Uzman Sistem Tekniklerine Dayalı Kesici Seçimi, Mamkon'97, *İ.T.Ü. Makine Fakültesi 1. Makina Mühendisliği Kongresi,* İstanbul, Türkiye, 1997, 349-357.

[56] H. Demir, Alüminyum Oksit Zımpara Taşlarıyla Silindirik Taşlamada Çeşitli Çelikler için Taşlama Oranlarının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı,* Ankara, 1998.

[57] Milli Eğitim Bakanlığı, Makine Teknolojisi, Temel Taşlama İşlemleri, 521MMI652 Ders modülü, (2012), 1-30. (Erişim: 11 Nisan 2023); http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Temel%20Ta%C5%9Flama%20%C4%B0%C5%9Flemleri.pdf

[58] H. Demir, A. Güllü, Taşlamada Parametrelerin Etkisi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi,* 7(2) (2001), 189-198. (Erişim: 11 Nisan 2023); https://dergipark.org.tr/tr/pub/pajes/issue/20536/218801

[59] M. C. Shaw, A Production Engineering Approach to Grinding Temperatures, *Journal of Materials Processing Technology, Elsevier,* 44(3-4) (1994), 59-169. Doi: 10.1016/0924-0136(94)90428-6

[60] Anonim, 1977. TS 291. Taşlama Taşları, Türk Standartları, Ankara, (Erişim: 11 Nisan 2023); https://www.scribd.com/document/409306951/TS-291-14-ISO-603-11-2001-Ta%C5%9Flama-Ta%C5%9Flar%C4%B1-Boyutlar-Bolum-11

[61] A. S. Khatri, Surface Topology and Forces in Grinding, MSC Thesis, Dalhousie University Master of Applied Science, Department of Mechanical Engineering, Canada, 2006. (Date of Access: 24 June 2023); https://www.collectionscanada.gc.ca/obj/thesescanada/vol2/002/MR27589.PDF?oclc_number=461541942

[62] Y. Ma, Z. Liang, Z. Cai, R. Cai, Z. Su, Y. Du, T. Zhou, X. Wang, Grinding Damage in the Fabrication of Polycrystalline Cubic Boron Nitride Micro-drill, *Journal of Manufacturing Processes,* 101(1) (2023), 469-479. Doi: 10.1016/j.jmapro.2023.05.106

[63] U. Köklü, Değişik Şekillerde Aralıklı (Kesikli) Yüzeylerin Taşlanmasında Oluşan Şekil Hatalarının Deneysel İncelenmesi, Doktora Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı,* İstanbul, Türkiye, 2009.

[64] H. Deng, Z. Xu, Dressing Methods of Superabrasive Grinding Wheels: A Review, *Journal of Manufacturing Processes,* 45(2) (2019), 46-69. Doi: 10.1016/j.jmapro.2019.06.020

[65] A. Azizi, S. M. Rezaei, A. Rahimi, Study on The Rotary Cup Dressing of CBN Grinding Wheel and The Grinding Performance, *International Advance Manufacturing Technology,* 47(9) (2010), 1053-1063. Doi: 10.1007/s00170-009-2227-0

[66] B. Yastıkçı, Investigation of Tool Wear in Grinding Processes, Yüksek Lisans Tezi, *Sabancı Üniversitesi Fen bilimleri Enstütüsü, Üretim Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı,* İstanbul, Türkiye, 2016.

[67] Y. Tian, L. Li, B. Liu, J. Han, Z. Fan, Experimental Investigation on High-Shear and Low-Pressure Grinding Process for Inconel718 Super Alloy, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,* 107(1) (2020), 3425–3435. Doi: 10.1007/s00170-020-05284-z

[68] X. Zhu, W. Wang, R. Jiang, X. Liu, K. Lin, Performances of Ni_3Al-based Intermetallic IC10 in Creep-feed Grinding, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,* 108(5) (2020), 809–820, Doi:10.1007/s00170-020-05408-5

[69] L. Singh, S. S. Khangura, P. S. Mishra, Performance of Abrasives Used in Magnetically Assisted Finishing: A State of The Art Review, *Int. J Abras Technol.,* 3(3), (2010), 215–227. Doi: 10.1504/IJAT.2010.034052

[70] S. Feygin, G. Kremen, L. Lgelstyn, Magnetic-Abrasive Powder and Method of Producing The Same, US Patent 5846270, 1998.

[71] S. R. Mulik, P. M. Pandey, Ultrasonic Assisted Magnetic Abrasive Finishing of Hardened AISI 52100 Steel Using Unbonded SiC Abrasives, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials,* 29 (1), (2011), 68-77. Doi: 10.1016/j.ijrmhm.2010.08.002

[72] T. Mori, K. Hirota, Y. Kawashima, Clarification of Magnetic Abrasive Finishing Mechanism, *Journal of Materials Processing Technology*, 143 (1), (2003), 682–686. Doi: 10.1016/S0924-0136(03)00410-2

[73] S. Kovaliova, V. Sepelak, et al., Mechanosynthesis of Composites in Chemically Non-reacting and Exothermically Reacting Systems for Magnetic Abrasive Media, *Journal of Materials Science,* 53 (1), (2018), 13560–13572. Doi: 10.1007/s10853-018-2463-5

[74] L. Heng, Y. J. Kim, S. D. Mun, Review of Superfinishing by The Magnetic Abrasive Finishing Process, *High Speed Machining,* 3 (1), (2017), 42-55. Doi:10.1515/hsm-2017-0004

[75] L. Heng, G. E. Yang, R. Wang, M. S. Kim, S. D. Mun, Effect of Carbon Nano Tube (CNT) Particles in Magnetic Abrasive Finishing of Mg Alloy Bars, *Journal of Mechanical Science and Technology,* 29 (12), (2015), 5325–5333. Doi:10.1007/s12206-015-1134-6

[76] T. T. Öpöz, X. Chen, Experimental Investigation of Material Removal Mechanism in Single Grit Grinding, *International Journal of Machine Tools & Manufacture,* 63 (1), (2012), 32-40. Doi: 10.1016/j.ijmachtools.2012.07.010

[77] Kuvars Kumu, (Erişim: 11 Nisan 2023); https://www.kuvarskumu.com/kuvarstozu/#:~:text=Kuvars%20Tozu%2C%20Kuvarsca%20zengin%20magmatik,bir%C3%A7ok%20alanda%20%C3%B6nemli%20rol%20oynar

[78] V. K. Jain, et al., Effect of Working Gap and Circumferential Speed on The Performance of Magnetic Abrasive Finishing Process, *Wear,* 250 (1-2), (2001), 384-390. Doi:10.1016/S0043-1648(01)00642-1

[79] N. K. Alkarkhi, M. Naif, Study on The Parameter Optimization in Magnetic Abrasive Polishing for Brass $CUZN_{33}$ Plate Using Taguchi Method, *The Iraqi Journal for Mechanical and Materials Engineering,* 12 (3), (2012), 596-615. (Date of Access: 24 June 2023); https://www.iasj.net/iasj/article/64598

[80] Z. Q. Liu, Y. Chen, Y. J. Li, X. Zhang, Comprehensive Performance Evaluation of the Magnetic Abrasive Particles, *Int J. Adv. Manuf Technol.,* 68 (1-4), (2013), 631–640. Doi:10.1007/s00170-013-4783-6

[81] Z. Song, Y. Zhao, G. Liu, Y. Gao, X Zhang, C. Cao, D. Dai, Y. Deng, Surface Roughness Prediction and Process Parameter Optimization of Ti-6Al-4V by Magnetic Abrasive Finishing, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 122 (1), (2022), 219–233, Doi:10.1007/s00170-022-09354-2

[82] H. Demir, A. Güllü, U. Şeker, Düzlem Taşlama İşleminde Taşlama Kuvvetlerinin Ölçülmesi İçin Bir Dinamometre Tasarımı ve İmalatı, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, Teknoloji Dergisi,* 9(2), (2006), 111-118. *(Erişim: 11 Nisan 2023);* https://eds.p.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=0&sid=0bea71ac-4b2d-4107-9695-c1b6bcfaf3b2%40redis

[83] S. C. Salmon, "Modern Grinding Process Technology", McGraw-Hill, New York, 103-109, 1992.

[84] J. S., Heo, Y. Koo, S. S. Choi, Grinding Characteristics of Conventional and ELID Methods in Difficult-to-Cut and Hardened Brittle Materials, *Journal of Materials Processing Technology*, 155–156 (1), (2004), 1196–1200. Doi:10.1016/j.jmatprotec.2004.04.394

[85] D. Anderson, Thermal Modeling and Temperature Measurement of Dry Grinding, MSC Thesis, Dalhousie University, Canada, 2006.

[86] S. Lachance, A. Warkentin, R. Bauer, Development of An Automated System for Measuring Grinding Wheel Wear Flats, *Journal of Manufacturing Systems,* 22 (2), (2003), 130-135. Doi: 10.1016/S0278-6125(03)90010-0

[87] I. D. Marinescu, W.B. Rowe, B. Dimitrov, I. Inasaki, H. Ohmori "Tribology of Abrasive Machining Processes", Elsevier, USA, 2nd ed., 2013.

[88] O. Adiyaman, Z. Demir, Model and Formulation in Grinding Mechanism Having Advanced Secondary Rotational Axis, *Measurement and Control,* 52(5-6) (2019), 326–337. Doi: 10.1177/0020294019837988

[89] O. Adiyaman, Z. Demir, V. Savas, Matematiksel Modelleme Yöntemiyle İkincil Dönel Eksenli Taşlamada Motor Gücünün Hesaplanmasının Araştırılması, *7th International Symposium On Machining, 3. November,* Marmara University, Istanbul, Turkey, 2016, 91-103.

[90] C. Xian, Y. Shi, X. Lin, D. Liu, 2020. Force Modeling for Polishing Aero-engine Blades with Abrasive Cloth Wheels, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,* 106(1) (2020), 5255–5267. Doi: 10.1007/s00170-020-05016-3

[91] Q. Meng, B. Guo, Q. Zhao, H. Nan Li, M. J. Jackson, B. S. Linke, X. Luo, Modelling of Grinding Mechanics: A Review, *Chinese Journal of Aeronautics, In Press, Corrected Proof, (2022),* Doi: 10.1016/j.cja.2022.10.006

[92] R. L. Hecker, S. Y. Liang, X. J. Wu, et al. Grinding Force and Power Modeling Based on Chip Thickness Analysis, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology.,* 33(5) (2007), 449–459. Doi: 10.1007/s00170-006-0473-y

[93] R.L. Hecker, I.M. Ramoneda, S.Y. Liang, Analysis of Wheel Topography and Grit Force for Grinding Process Modeling, *Journal of Manufacturing Processes*, 5(1) (2003), 13–23. Doi: 10.1016/S1526-6125(03)70036-X

[94] H. Jamshidi, M. Gurtan, E. Budak, Identification of Active Number of Grits and Its Effects on Mechanics and Dynamics of Abrasive Processes, *Journal of Materials Processing Technology,* 273(116239) (2019), 1-12. Doi: 10.1016/j.jmatprotec.2019.05.020

[95] H. Nan Li, T. Biao Yu, Z. Wang, L. Da Zhu, W. Shan Wang, Detailed Modeling of Cutting Forces in Grinding Process Considering Variable Stages of Grain-workpiece Micro Interactions, *International Journal of Mechanical Sciences,* 126(1) (2016), 1-45. Doi:10.1016/j.ijmecsci.2016.11.016

[96] C. Qian, Z. Fan, Y. Tian, Y. Liu, J. Han, J. Wang, A Review on Magnetic Abrasive Finishing, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,* 112(11) (2021), 619–634. Doi:10.1007/s00170-020-06363-x

[97] B. Girma, S. Joshi, M. V. G. S. Raghuram, An Experimental Analysis of Magnetic Abrasives Finishing of Plane Surfaces, *Machining Science and Technology,* 10(3) (2006), 323–340. Doi: 10.1080/10910340600902140

[98] P. Singh, P. S. Samra, L. Singh, Internal Finishing of Cylindrical Pipes Using Sintered Magnetic Abrasives, *International Journal of Engineering Science and Technology,* 3(7) (2011), 5747-5753.

[99] M. R. Smolkin, R. D. Smolkin, Calculation and Analysis of The Magnetic Force Acting on A Particle in The Magnetic Field of Separator Analysis of The Equations Used in The Magnetic Methods of Separation, *IEEE Transactions on Magnetics,* 42(11) (2006), 3682–3693. Doi: 10.1109/TMAG.2006.88068889

[100] K. B. Judal, V. Yadava, Modeling and Simulation of Cylindrical Electro-Chemical Magnetic Abrasive Machining of AISI-420 Magnetic Steel, *Journal of Materials Processing Technology,* 213(12) (2013), 2089–2100. Doi: 10.1016/j.jmatprotec.2013.06.011

[101] A. R. Chaudhari, K. B. Judal, Development and Experimentation of Modified Electro-chemical Magnetic Abrasive Finishing, *Materials and Manufacturing Processes,* 37(4) (2022), 448-457, Doi: 10.1080/10426914.2021.2016822

[102] M. R. Smolkin, R. D. Smolkin, Calculation and Analysis of the Magnetic Force Acting on a Particle in the Magnetic Field of Separator, Analysis of the Equations Used in the Magnetic Methods of Separation, *IEEE Transactions on Magnetics,* 42(11) (2006), 3682–3693.

[103] Y. Chen, A. Shimamoto, X. Gao, M.M. Zhang, Study of Friction Coefficient and Friction Force on Magnetic Abrasive Finishing, *Materials Science Forum,* 675(1) (2011), 663-666. Doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.675-677.663

[104] H. Jamshidi, E. Budak, An Analytical Grinding Force Model Based on Individual Grit Interaction, *Journal of Materials Processing Technology,* 283(116700) (2020), 1-15. Doi: 10.1016/j.jmatprotec.2020.116700

NEÜ PRESS

Necmettin Erbakan Üniversitesi
Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi
Journal of Science and Engineering (NEJSE)
DOI: 10.47112/neufmbd.2023.14

Cilt: 5 Sayı:2 Yıl: 2023 | Araştırma Makelesi / Research Article | E-ISSN: 2667- 7989

Termik Santral Atığı Olan Kömür Külünün SBR Matrisli Bileşiklere İlave Edilmesinin Mekanik Özelliklere Etkisi

Şaban BÜLBÜL [1] Enes AYHAN [2] Hakan GÖKMEŞE [3]

[1] Necmettin Erbakan Üniversitesi, Seydişehir Ahmet Cengiz Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Konya, Türkiye, sabanbulbul@hotmail.com *(Sorumlu Yazar/ Corresponding Author)*

[2] Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, Türkiye, enes.ayhan.4211@gmail.com

[3] Necmettin Erbakan Üniversitesi, Seydişehir Ahmet Cengiz Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Konya, Türkiye, hakan1440@gmail.com

Makale Bilgileri

Makale Geçmişi
Geliş: 20.06.2023
Kabul: 21.08.2023
Yayın: 31.12.2023

Anahtar Kelimeler:
SBR,
Kömür külü,
Mekanik özellikler.

ÖZ

Kömür küllerinin geri dönüşümü olmadığı için doğaya atılması ciddi zararlar ortaya çıkarmaktadır. Aynı zamanda kömür külünün kimyasal bileşiminde insan ve hayvan sağlığına zararlı maddelerin olması özellikle doğal yağışlar sayesinde içme sularına karışması canlıların ve sulama yapılan tarım alanlarını ciddi şekilde tehlikeye sokmaktadır. Türkiye'de birçok termik santral bulunmaktadır. Buralardan elde edilen atıkların geri dönüştürülmesi ve ekonomiye kazandırılması büyük önem arz etmektedir. Endüstriyel atıkların polimer teknolojisi sektöründe dolgu olarak kullanılmasıyla ilgili sınırlı sayıda çalışmalar mevcuttur. Kömür külünün polimer matrisli bileşiklerde kullanılması ile ilgili hiçbir çalışma mevcut değildir. Bu çalışmada SBR matrisine %0, %5, %10 ve %15 oranında karbon siyahına ek olarak kömür külü ilave edilmiş ve 4 farklı bileşik elde dilmiştir. Elde edilen bu bileşiklerin çapraz bağ yoğunluğu hesaplanmış ve çapraz bağ yoğunluğunun mekanik özellikler üzerine etkisi araştırılmıştır. Bileşiklerdeki kömür külü dolgu oranı yükseldikçe, bileşiklerin çapraz bağ yoğunluğunun artmasına ve buna bağlı olarak, sertlik, yüzde uzama, kopma mukavemeti gibi mekanik özellikleri geliştirdiği ve özgül ağırlık gibi fiziksel özelikleri de arttırdığı görülmüştür.

Effect on Mechanical Properties of Addition of Coal Ash as Thermal Power Plant Waste to SBR Matrix Compounds

Article Info

Article History
Received: 20.06.2023
Accepted: 21.08.2023
Published: 31.12.2023

Keywords:
SBR,
Coal ash,
Mechanical properties.

ABSTRACT

The disposal of coal ashes into the environment due to their non-recyclable nature poses significant harms. Moreover, the presence of harmful substances in the chemical composition of coal ash, coupled with the potential contamination of drinking water sources and irrigation areas through natural precipitation, poses serious threats to both living organisms and agricultural lands. There are many thermal power plants in Turkey. It is of great importance that the wastes obtained from these areas are recycled and brought into the economy. There are limited studies on the use of industrial wastes as filler in the polymer technology sector. There are no studies on the use of coal ash in polymer matrix compounds. In this study, 0%, 5%, 10%and 15%carbon black were added to the SBR matrix in addition to coal ash and 4 different compounds were obtained. The crosslink density of these obtained compounds was calculated and the effect of crosslink density on mechanical properties was investigated. It was observed that as the coal ash filling ratio in the compounds increased, the crosslink density of the compounds increased and accordingly, mechanical properties such as hardness, percent elongation, breaking strength and physical properties such as specific gravity increased.

Atıf/Citation: Bülbül, Ş.; Ayhan, E. & Gökmeşe, H. (2023). Termik santral atığı olan kömür külünün sbr matrisli bileşiklere ilave edilmesinin mekanik özelliklere etkisi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, *5*(2), 135-146. https://doi.org/10.47112/neufmbd.2023.14

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

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son yıllarda teknoloji gelişimi ile polimer endüstrisi Dünya ve Türkiye'de önemli sektörlerden biri haline gelmiştir. 2019 yılında yapılan araştırmalara göre Dünyanın toplam kauçuk ihracatının %1,64'ünü toplam kauçuk ithalatının ise %1,42'sini Türkiye oluşturmaktadır. Türkiye'de kauçuk imalatı olamadığından dolayı doğal ve sentetik kauçuklar yurtdışından getirilmektedir. Başta ayakkabı dış taban olmak üzere, konveyör bantlar, araç lastikleri, araç silecekleri, tıbbi ekipmanlar ve oyuncaklar vb. sektörler aracılığıyla ihracat Türkiye ekonomisine yılda 4 milyar doların üzerinde bir döviz girdisi sağlamaktadır [1,2]. 2013 yıllında kauçuğun iç pazar tüketim miktarı 437 bin ton ve 2 milyar 979 milyon dolar olan kauçuk mamullerinin satışında elde edilen gelir 2017 yılda ortalama tüketimi %5,5 tona çıkarken bunlardan elde edilen gelirde %1,8 artma göstermiştir. Bununla birlikte 2017 ile 2016 yılları mukayese edilecek olursa ton bazında %12,8 fiyat bazında da ise %16,4 artış göstermiştir. Ekim 2019- 2020 ihracatını karşılaştırdığımızda 2019 yılında 109 milyon $ ihracat gerçekleştirildiği, 2020 yılında gerçekleştirilen 124 milyon dolarlık ihracatın bir önceki yıla göre %88 oranında artış göstermiştir [3]. En çok kullanılan sentetik kauçukların başında SBR (Stiren Butadien Rubber) kauçuğu gelmektedir. Yoğunluğunun düşük olması, yüksek aşınma direncine sahip olması, yüksek esneklik sergilemesi ve yaşlanmaya karşı dayanaklı olması gibi üstün özelliklere sahip olması diğer sentetik kauçuklardan daha fazla tercih edilmesine sebep olmaktadır. Doğal kauçuğun özelliklerine en yakın sentetik kauçuk olması, ana zincir yapısının çift bağ içermesi nedeniyle, SBR kauçuklar yüksek mekanik özellikler sergilemez fakat termal özelliklerinin iyi olması ve neme karşı göstermiş oldukları dirençlerden dolayı raf ömürleri uzundur bunun için kullanıldıkları ürünlerde raf ömürlerini uzatırlar [4,5].

Kauçuk matrisli bileşiklerde kullanılan dolguların başında karbon siyahı ve silika grupları gelmektedir. Mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri geliştirmek için birçok organik ve inorganik malzeme, kauçuklu bileşiklerde dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır [6,7]. Silika dolgu bileşiklerin oluşturduğu güçlü hidrojen bağına yol açan önemli sayıda yan bağ gruplarının varlığı, silikayı elastomer endüstrisinde kullanılmasının önünü açmıştır [8]. Karbon Siyahı ile silika mukayese edildiğinde, kauçuğa silika eklenmesi, silika karışımlarına bağlantı maddeleri dahil edilerek azaltılabilen zayıf dağılıma neden olabilir [9]. Silika-kauçuk bileşiklerinin mekanik mukavemetini arttırmada kullanılan en yaygın bağlantı maddesi silandır. Bis [γ-trietoksisililpropil] disülfürün (TESPD) silikanın kauçuk matriste dağılımını iyileştirdiği bilinmektedir. Silan bileşiklerinin kauçuk bileşenlerin mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri olumlu yönde etkilediğini bildiren bir çok çalışma mevcuttur [10–12]. Fakat silan bağlama ajanlarının maliyetlerinin yüksek olması ve üreticileri dışa bağlılığını arttırdığı için karbon siyahının daha çok kullanılmasına sebep olmuştur. Karbon siyahı, kauçuk bileşiklerinin özelliklerini (fiziksel, kimyasal ve mekanik) geliştirmek artırmak için çeşitli literatür çalışmalarda dolgu malzemesi olarak kullanıldığı görülmektedir [13–17]. Fakat petrol fiyatlarındaki istikrarsızlıktan doğan karbon siyahındaki fiyat değişimi polimer endüstrisinde ham madde sıkıntısına yol açtığı için yeni dolgu arayışına girilmiştir. Günümüzde rekabet ortamının artması ve her alanda rekabet etmek için üreticilerin üstünlüğü ele geçirmek istemleri başlıca amaç haline gelmiştir[18].

Tüm bunların yanında son yıllarda, fosil yakıt rezervleri azalırken, enerji talebinin hızla artmasından dolayı; alternatif dolgu malzemeleri kullanılmaya başlanılmıştır [19]. Bu nedenle kauçuk endüstrisinde birçok organik ve inorganik malzemenin dolgu malzemesi olarak kullanılmasının önemli olduğunu vurgulayan çalışmalar vardır [20]. Birçok bilim insanı yaptığı çalışmalarda, tarımsal ve endüstriyel atıklarının geri dönüşümünün önemli olduğunu rapor etmişlerdir [21–25].

Bu çalışmanın amacı, çevre kirliliğine yol açan termik santrallerin atığı olan kömür küllerinin polimer endüstrisinde dolgu olarak kullanılabilirliğin araştırılması ve çapraz bağ yoğunluğunun mekanik özellikler üzerine etkisinin belirlenmesidir. Ayrıca tarımsal, çevresel ve endüstriyel atıkların polimer sektöründe kullanılabileceğini göstermek ve buna benzer çalışmalara ışık tutabilmektir.

MATERYAL VE METOT (MATERIALS AND METHODS)

Deneysel çalışmalarda LBS Bileşim ve Belge Teknolojileri LTD.ŞTİ. ticari işletmesinden tedarik edilen dolgu maddeleri, katkı malzemeleri, SBR 1502 Stiren Bütadien Kauçukları ve kimyasalları kullanılmıştır. Çalışmalarda kullanılan ve deney numunelerinin üretilmesinde ihtiyaç duyulan kömür külü bileşeni ise, Manisa bölgesinde hizmet veren Elektrik Üretim A.Ş. firmasına ait olan Soma Termik Santralinden tedarik edilmiştir. Deneysel çalışmalarda deney numunelerin üretilmesi amacıyla kullanılan kauçuk ve dolgu malzemelerin teknik özellikleri ve ticari isimleri Tablo 1'de gösterilmiştir [26].

Tablo 1. *Katkı ve Dolgu Bileşenlerinin Ticari İsimleri ve Teknik Özellikleri*

Bileşen Maddeler	**Ticari İsimleri**	**Yoğunluk (g/cm^3)**	**Tane Boyutu (µm)**
Styrene Butadien Rubber	SBR 1502	0.94	-
Karbon Siyahı	HAF N330	1.8	0.028
Mikronize Kalsit	KARLİS	2.71	20
Kömür Külü	-	2.4	20

Deney numunelerinin üretimi kapsamında aynı bileşik içeriği sabit tutularak, %0, %5, %10, %15 oranlarında termik santral atığı kömür külü (TKK) takviye edilmiş ve 4 farklı içerikte bileşik oluşturulmuştur. Deney numunelerinin üretimine yönelik olarak, SBR kauçuğu Laboratuvar tipi çift silindirli karıştırma cihazında öncelikli olarak ön karıştırma işlemine tabi tutulmuştur. Kömür külü, karbon siyahı ve kalsit tartım işlemleri sonrası kauçuk hamuruna ilave edilmiş ve 5 dakika karıştırma süreci uygulanmıştır. Karıştırma işlemini takiben koruyucu ve hızlandırıcı katkı malzemeleri ile takviyelendirilerek homojen bir yapı sağlanması için karıştırma işlemi 3 dakika daha devam etmiştir. Hemen akabinde yumuşatıcı olarak yağ içeriği ve diğer katkı malzemeleri ilave edilmiş ve 4 dakika karıştırılmıştır. Kükürt ve aktif çinko çapraz bağ yapıcılar olarak karışıma ilave edilmiş uygulanan son 3 dakika karıştırma ile işlem sonlandırılmıştır. Bu sürecin ardından homojen hale gelen kauçuk hamuru 24 saat oda sıcaklığında bekletilmiştir. Deney numunelerinin şekillendirilmesi amacıyla kauçuk hamuru, 160x160x6 milimetrelik kalıp içerisine aktarılarak 160 bar basınçta 5 dakika ve 165°C de sıcaklıkta preslenerek vulkanizasyon süreci tamamlanmıştır. Numunelerin üretimi sırasında kullanılan dolgu ve katkı maddelerinin ağırlıkça yüzdeleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. *Takviye ve Katkı Bileşenleri Miktarı (%)*

Takviye ve Katkı Malzemeleri	**TKK0**	**TKK5**	**TKK10**	**TKK15**
SBR	100	100	100	100
Karbon Karası	30	30	30	30
Kalsit	20	20	20	20
Parafinik Özlü Yağ	10	10	10	10
ZnO_2	2	2	2	2
S	2.5	2.5	2.5	2.5
MBT	5.5	5.5	5.5	5.5
CZ	1	1	1	1
Stearik Asit	2	2	2	2
DPG	1	1	1	1
Termik Santral Kömür Külü	-	5	10	15

Elde edilen deney numunelerinin yoğunluk değerlerinin ölçülmesinde, Micromeritics marka-AccuPyc II 1340 model gaz piknometre cihazı kullanılmıştır. Deney numunelerinin çapraz bağ yoğunluk değerleri belirtilen formüller (Eşitlik 1, 2, 3 ve 4) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$V_e = \frac{-[\ln(1-V_2)+V_2+\chi V_2^2]}{V_s[V_2^{1/3}-\frac{V_2}{2}]} \quad (1)$$

V_s: Çözücünün molar hacmi, **V_e:** Çapraz bağ yoğunluğu, **V_2:** Şişmiş örneğin hacim fonksiyonu, **χ:** Polimer çözücü etkileşim parametresi

$$Q = \frac{W_s}{W_{ds}} - 1 \quad (2)$$

W_s: Şişme sonrası ilk tartım, **W_{ds}:** Kurutma sonrası tartım, **Q:** Şişme derecesi

$$W_2 = \frac{1}{1+Q} - 1 \quad (3)$$

$$W_1 = 1 - W_2$$

W_1 **:** Şişmiş örneğin ağırlık fraksiyonu, ***W_2*** **:** Çözücünün ağırlık fraksiyonu

$$V_2 = \frac{{}^{w_2}/_{d_2}}{{}^{w_2}/_{d_2} + {}^{(w_1)}/_{d_1}} \quad (4)$$

d_1**:** Çözücünün yoğunluğu, ***d_2*****:** Polimerin yoğunluğu

Uygulanan vulkanizasyon sürecinden 48 saat sonra 23 ± 20°C'de deney numunelerinin mekanik özellik noktasında sertlik ölçümleri ISO 868 standartlarına göre gerçekleştirilmiştir [27]. Sertlik ölçümleri Tronic marka AFFRI 3001 model durometre cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçüm sonuçları Shore A cinsinden elde edilmiştir. Sertlik ölçüm çalışmaları oda sıcaklığı şartlarında ve her numuneden 5 farklı ölçüm alınarak yapılmıştır. Bu ölçümlerden elde edilen değerlerin ortalamaları alınarak sonuçlar elde edilmiştir. Deney numunelerin kopma dayanım ve uzama testleri ISO 37 standardı doğrultusunda Shimadzu marka-AGS-X Floor model gerinim ölçer (tensometre) cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Bu uygulama için çekme hızları 10 mm/sn de ve tek eksenli olarak yerine getirilmiştir. Elde edilen numunelerin yırtılma testi ise ISO 34-1'e göre yapılmıştır. Bu test sırasında çekme hızları 8±0.8 mm/s olarak uygulanmıştır. Uygulanan yırtılma test deneyleri numune üretimlerini takiben 48 saat sonra, 23 ± 2 °C sıcaklıkta ve %50 bağıl nem oranı altında gerçekleştirilmiştir. Deney numunelerinin mikroyapısal karakterizasyonu için numune yüzeylerinde 5 mm kalınlığında altın kaplama uygulanarak, SEM (taramalı elektron mikroskobu) ile incelemeler yapılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

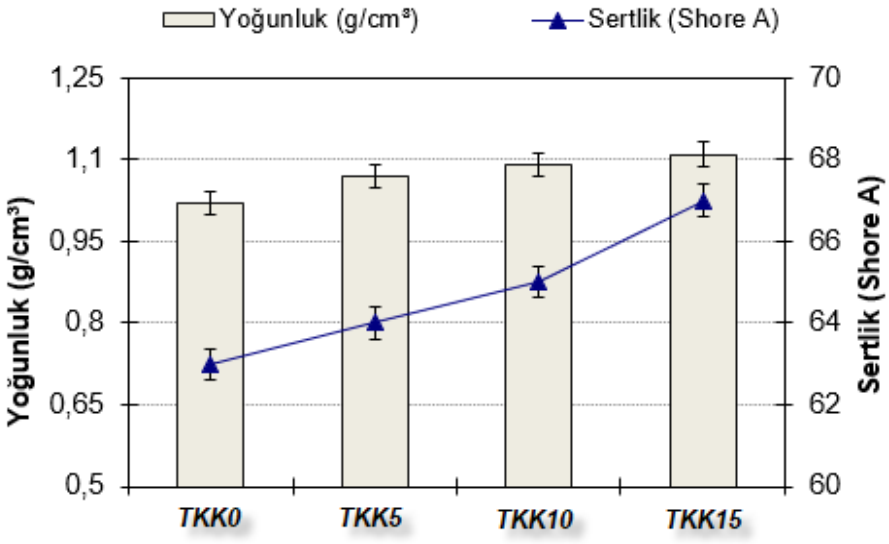
Deneysel çalışmalar neticesinde elde edilen kömür külü takviyeli bileşiklerin, çapraz bağ yoğunlukları Eşitlik 1-4 formülleri kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen bileşiklerin çapraz bağlanma denklem verileri ise Tablo 3'te gösterilmiştir. Ortaya çıkan çapraz bağ yoğunluk değerleri değerlendirildiğinde, kömür külü miktarı SBR matrisli bileşiklerin içerisinde artırıldığında, çapraz bağ yoğunluğunun da bu artış miktarına bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. Bu durumda en yüksek çapraz bağ yoğunluk değeri 67.6782×10^6 mol/cm^3 olarak TKK15 bileşiğinde tespit edilmiştir. TKK15 bileşiğinde yer alan çapraz bağ yoğunluğunun orijinal bileşik içeriğine kıyasla %62 oranında artış görülebilmektedir. TKK5 ve TKK10 bileşiklerindeki yer alan çapraz bağ yoğunlukları ise sırayla 49.2355×10^6 mol/cm^3 ve 57.7752×10^6 mol/cm^3 hesaplanmıştır. Kömür külü katkısı ile hazırlanan bileşiklerin çapraz bağ yoğunluk değerleri karşılaştırıldığında ise, TKK15 bileşiğinin TKK5 ve TKK10 bileşiklerine sırayla %37 ve %10 oranlarında artış gösterdiği ortaya çıkmıştır.

Tablo 3. *Üretilen Bileşiklerin Çapraz Bağ Denklem Verileri*

Bileşikler	**TKK0**	**TKK5**	**TKK10**	**TKK15**
Aseton işlemli tartım (w_i, g)	1.4523	1.804	1.4633	1.542

Kloroform işlemli tartım (w_s, g)	6.7608	6.5223	6.151	6.1977
Kurutma sonucu tartma (w_{ds}, g)	1.2191	1.2458	1.2419	1.3219
Şişmenin derecesi (Q, %)	4.5459	4.2358	3.9532	3.6885
Bileşik ağırlığın fraksiyonu (w_2)	0.1804	0.191	0.2019	0.2132
Çözücü ağırlık fraksiyonu (w_1)	0.8195	0.8089	0.798	0.7867
Bileşik yoğunluğu (d_2, g/cm^3)	0.94	0.94	0.94	0.94
Çözücü yoğunluk (d_1, g/cm^3)	0.867	0.867	0.867	0.867
Bileşik hacminin fraksiyonu (V_2)	0.1687	0.1788	0.1892	0.2
Çözücü molar hacmi (V_s, cm^3/mol)	106.2757	106.2757	106.2757	106.2757
Çapraz bağ yoğunluğu (V_e, mol/cm^3)	41.8984×10^6	49.2355×10^6	57.7752×10^6	67.6782×10^6

Elde edilen bileşiklerin çapraz bağ yoğunluk değerlerinde artışın temel sebebi, içeriğinde yer alan kömür külünden olduğu belirtilebilir. Çünkü kömür külü kimyasal kompozisyonunda, %33.15 Al_2O_3, %48.73 SiO_2, %4.83 Fe_2O_3 ve %1 değerinde MgO yer almaktadır. SiO_2, Al_2O_3, ve MgO seramik parçacıklarının kauçuk matrisli bileşiklere katkılandırılması sonucunda çapraz bağ yoğunluğunu artırması bilinen sonuçlar arasında yer almaktadır [28–30]. Yapılan literatür taramalarında kömür külü kimyasal kompozisyonunda yer alan elementlerin kullanıldığı bilimsel çalışmalar bulunmaktadır [31]. Deney numunelerinde hesaplanan çapraz bağ yoğunluğu artışı dikkate alındığında ise literatürde bulunan sonuçlar ile benzerlik ortaya çıkmaktadır [32]. Üretilen deney numunelerinin yoğunluk ve sertlik sonuçları Şekil 1'de gösterilmiştir.



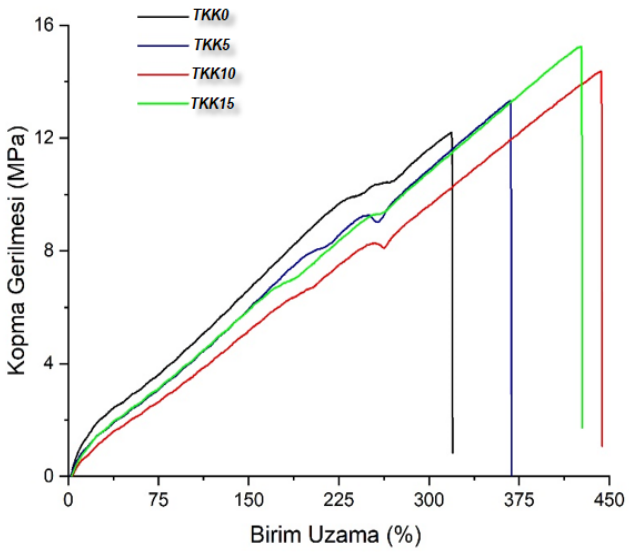
Şekil 1. *Yoğunluk ve Sertlik Sonuçları*

Deney numunelerinin yoğunluk değerleri incelendiğinde, ilave edilen kömür külü oranı artıkça yoğunluk değerlerinin de artış gösterdiği belirlenmiştir. 1.02 g/cm^3 değeri ile en düşük yoğunluk sonucu TKKO bileşiğinde elde edilmiştir. En yüksek yoğunluk değeri ise 1.11 g/cm^3 olarak TKK15 bileşiğinde tespit edilmiştir. TKK5 ve TKK10 bileşiklerinin yoğunluk ölçüm sonuçları ise sırayla 1.07 g/cm^3 ve 1.09 g/cm^3 elde edilmiştir. TKK15 bileşiğindeki yoğunluk değerinin TKK0 bileşiği ile kıyaslandığında %9 miktarınca artış oluşturduğu belirlenmiştir. Üretilen bileşiklerdeki yoğunluk artışının nedeni, çalışmada tercih edilen karbon siyahı (1.8 g/cm^3) takviyesinin kömür külünden (2.4 g/cm^3) daha düşük bir yoğunluk değerinde olmasının sonucu ile belirtilebilir. Yoğunluk değeri yüksek miktarda olan takviye malzemelerinin miktarları artırıldığında, özellikle bu bileşiklerde yoğunluk sonuçlarının da genel bileşiğe oranla artış sergilediği belirtilmiştir [19].

Şekil 1' de verilen sertlik sonuçları incelendiğinde, en yüksek sertlik değeri 67 Shore A olarak TKK15 bileşiğinde elde edilmiştir. En düşük sertlik sonucu ise kömür külü ilavesi bulundurmayan TKK0 bileşiğinde ölçülmüştür (63 Shore A). Bileşiklere takviye edilen kömür külü oranı arttıkça sertlik sonuçlarının da artış gösterdiği belirlenmiştir. TKK15 bileşiğindeki sertlik değerinin TKK0 bileşiğine nazaran %6 artış gösterdiği

tespit edilmiştir. Elde edilen sertlik sonucunun başlıca sebebi, kömür külü katkısı ile üretilen bileşiklerin çapraz bağ yoğunluk değerindeki artışın bir sonucu olarak düşünülmektedir. Doaa E. El- Nashar ve ark. Tarafından yapılan bir çalışmada çapraz bağ yoğunluğunun artış göstermesinin sonucu olarak bileşiklerin sertlik değeri sonuçlarında artış yaşandığını ifade etmişlerdir. Sertlik sonucundaki yükselişin bir diğer nedeni ise, bileşiklere takviye edilen kömür külünün kompozisyonunda yer alan oksitli seramik parçacıklardır (Fe_2O_3 ve Al_2O_3). Kauçuk içerikli bileşiklere takviye olan karbon siyahı kullanılan seramik parçacıkların yanı sıra daha yumuşaktır. Böylece kullanılan sert takviyelerin yumuşak takviyelere kıyasla kauçuk içerikli bileşiklerde sertlik sonucunu artırması yönünde etkili olduğu bilinmektedir [33].

Üretimi gerçekleştirilen deney numunelerinin kopma dayanım ve birim uzama sonuçları Şekil 2' de verilmiştir. Elde edilen dayanım değerleri sonuçları değerlendirildiğinde, bileşiklere takviye olarak kullanılan kömür külü takviye miktarı artış gösterdiğinde bileşiklerin yüzde birim uzaman ve kopma dayanım değerlerinde artış sergilendiği görülmektedir. TKK0 bileşiğinin kopma dayanım değeri 12.19 MPa iken TKK5 bileşiğinin kopma dayanımı ise 13.29 MPa ölçülmüştür. Bileşikler içerisindeki kömür külü oranı arttıkça TKK10 ve TKK15 bileşiklerinin sırasıyla kopma dayanımları 14.35 MPa ve 15.21 MPa olarak artış göstermiştir. TKK15 bileşiği kopma dayanımının TKK0 bileşiğine göre neredeyse 3 MPa daha etkin mukavemet gösterdiği deneysel çalışmalar neticesinde ortaya çıkarılmıştır. Kömür külü takviyesi içeriğinde yer alan SiO_2 ve MgO fazlarının çapraz bağı yoğunluğunu artırmasının neticesi olarak üretilen bileşiklerin mukavemetleri de artmaktadır. Bu nedenle kopma gerilme değerlerinde bir yükselme meydana gelmiştir.

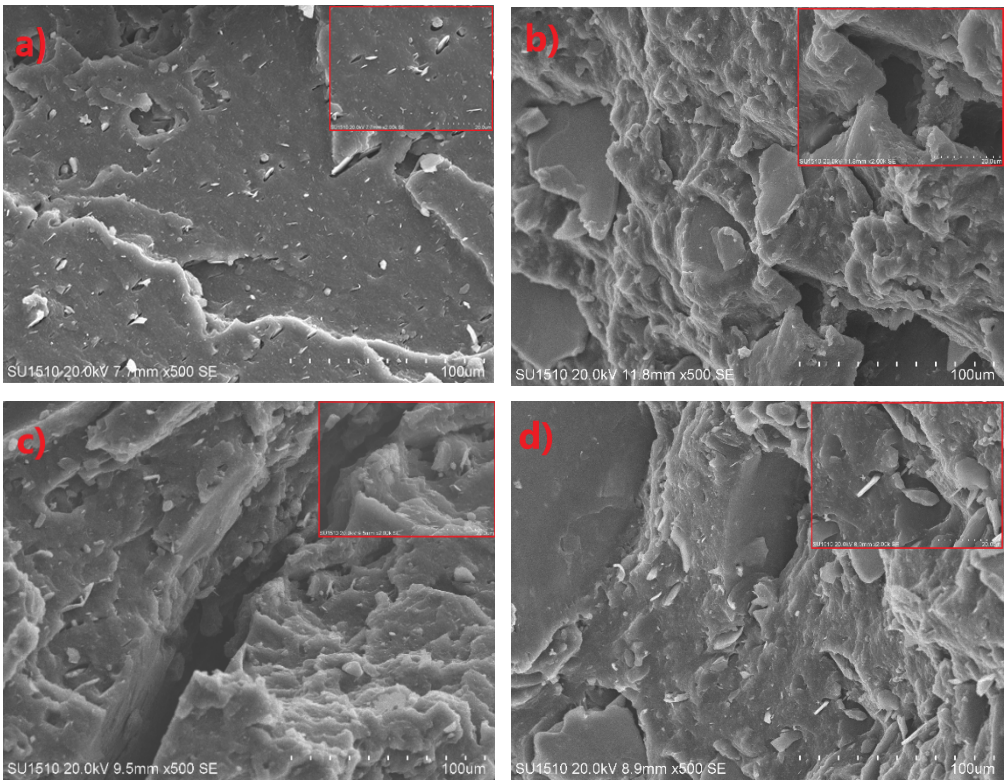


Şekil 2. *Kopma ve Birim Uzama Test Sonuçları*

Birim uzama sonuçları neticesinde ise (Şekil 2), TKK0, TKK5, TKK10 ve TKK15 bileşiklerindeki yüzde birim uzama sonuçları sıra ile %319, %368, %443 ve %427 olarak belirlenmiştir. TKK10 bileşiğindeki birim uzama sonucunun orijinal bileşiğe kıyasla %34 daha faz artış gösterdiği belirlenmiştir. Çapraz bağ yoğunluk değerinin yükselmesiyle birlikte aynı zamanda kopma dayanımları artış gösteren bileşiklerin de birim uzama sonuçlarında yükselmeye neden olmuştur. Fakat TKK15 bileşiğinim birim uzama sonucu ise TKK10 bileşiğin yüzde birim uzama sonucundan daha düşük miktarda elde edilmiştir. Bu durumun sonucu çapraz bağ yoğunluk değerinin artmasıyla birlikte kauçuk temel zincir hareketliliğinin engellenmesi olarak ifade edilebilir [34,35]. Çekme testi esnasında çapraz bağ yoğunluğu fazla bileşiklerdeki bağ yapıları, çekme yönü boyunca hareketsiz kalacağından ötürü dayanım artış gösterirken süneklik değeri azalabilmektedir [36]. Bileşiklerde kullanılan takviye içerik yoğunluğu arttıkça, takviye partiküllerinin kümelenme/topaklanma eğilimi olabilmektedir. Bu durumun sonucu olarak zincirlerin arasındaki fiziksel temaslar (van der Waals) sebebiyle birim uzama sonucu da azalabilmektedir. Ortaya çıkan sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda, çapraz bağ yoğunluk sonucunun artması ile elde edilen yoğunluk, sertlik, kopma dayanımı ve birim uzama değerlerinde artışlar yaşanabilmektedir. Bunun sebebi bileşik içerisinde yer alan matris yapıdaki çapraz ve ana bağların, çekme

işlemi sırasında çekme doğrultusunun tersi yönünde hareket etmek istemeleridir. Bu durumun sonucu ise üretilen deney numunelerinde mukavemet artışı şeklinde yorumlanabilir. Yapılan çalışmalardan da görüleceği üzere, bileşik çapraz bağ yoğunluk değerlerindeki artışlara bağlı olarak numunedeki birim uzama ve sertlik sonuçlarının da artış göstereceği belirtilmiştir [37].

Şekil 3'te TKK0 bileşiğine %0, %5, %10 ve %15 oranında takviye edilen kömür külü takviyesi ile üretilen deney numunelerinin SEM mikro yapı görüntüleri verilmiştir. Şekil 3'te verilen SEM mikro yapı görüntüleri incelendiğinde, bileşiğin içerisinde takviye edilen kömür külünün artması ile kauçuk matris içerisinde homojen dağılım sergilediği belirtilebilir. Kömür külü takviyesi ile yapının içinde bağların bir araya toplanarak takviye kauçuk temasını ciddi miktarda artırdığı ve ciddi derecede güçlü bir ağ sistemi oluşturduğu belirlenmiştir.



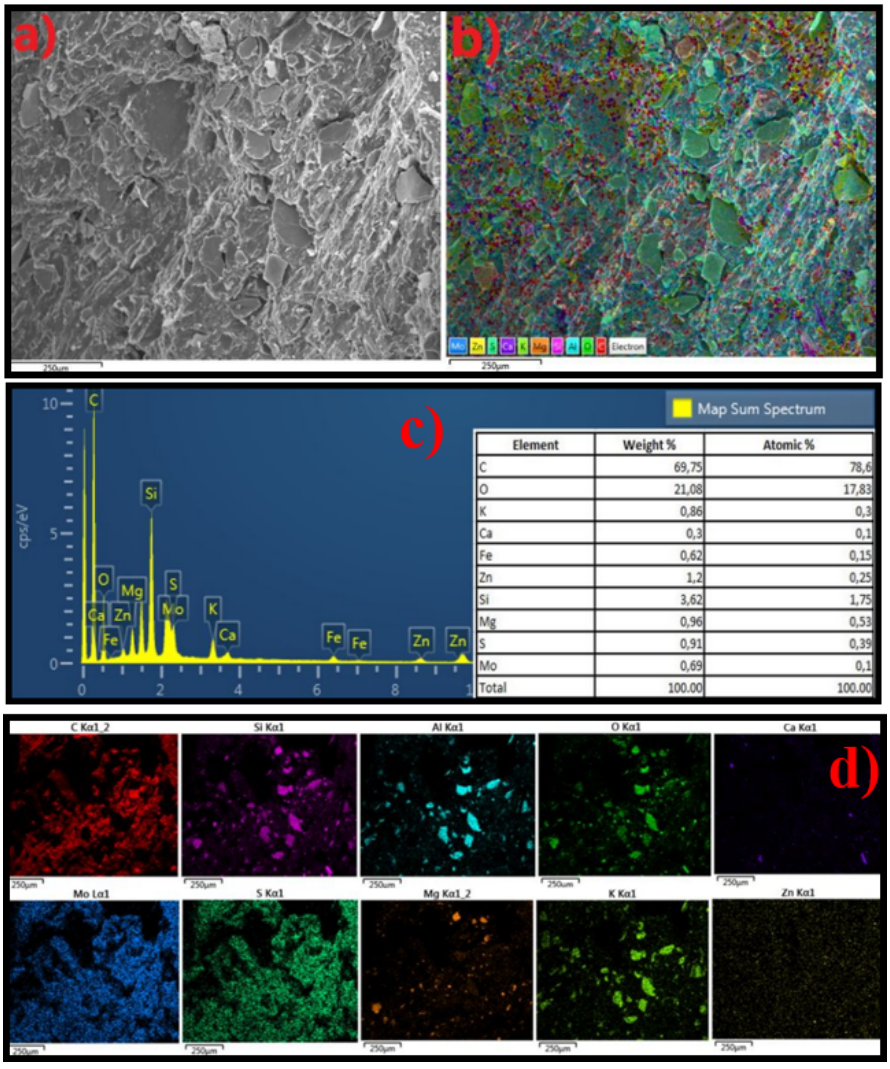
***Şekil 3. a)** TKK0, **b)** TKK5, **c)** TKK10, **d)** TKK15 Takviyeli Bileşiklerin Kopma Yüzey SEM Görüntüleri*

Şekil 3a SEM mikro yapısı incelendiğinde kopma bölgesi kauçuk matrisinden meydana gelirken diğer SEM mikro yapılarında (Şekil 3.6 b, c ve d) takviyelerin yoğun bulunduğu bölgelerden meydana geldiği belirtilebilir. Aynı zamanda SEM mikroyapıları ile numune yüzeylerinde derin boşluklar ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Bu sonucun nedeni homojen bir biçimde dağılım sergileyen takviyenin malzemeden koparak ayrılmasıdır. SEM mikro yapıları ve test sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, bileşiklerde kullanılan takviye kömür külü, matrisim mekanik özellikleri ve kauçuk takviye teması/etkileşimini artırmıştır.

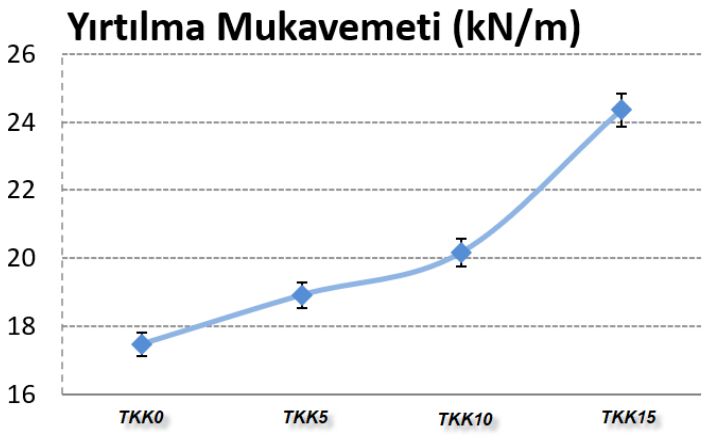
TKK dolgu katkısı ile hazırlanan bileşiklerin mikro yapısı açısından yer alan element dağılımlarının daha iyi ortaya çıkarılabilmesi için, katkı miktarının en yüksek olduğu TKK15 bileşiğine ait kopma numunesi yüzeyi değerlendirilmiştir (Şekil 4a ve b). Aynı zamanda Şekil 4c'de gösterilen TKK15 bileşiği kapsamında C, O, Si, Zn, Mg, S, K, Mo, Fe ve Ca kimyasallarına ait EDS genel analiz sonucu paylaşılmıştır. Şekil 4d'de ise TKK15 bileşiğine ait kopma yüzeyi, elementel haritalama yöntemi neticesinde C, O, Si, Zn, Mg, S, K, Mo, Al ve Ca elementlerinin dağılımlarına yer verilmiştir. TKK15 bileşiğinin kopma yüzey morfolojisi değerlendirildiğinde, vulkanizasyon işlemi sırasında bileşik içerisine katkılandırılan TKK kimyasalında yer alan inorganik kimyasallar ve katkı içerikleri yoluyla bileşik içerisine C, Si, S, Na, Zn, Mg K, O, Mn ve Ca elementlerinin

girdiği görülebilmektedir. K, Si, Al ve O kimyasallarının bileşik içeriğinde heterojen, diğer kimyasalların ise homojen olarak dağılım gösterdiği söylenilebilir. Homojen olarak dağılan gösteren bu kimyasallar dolgu kauçuk etkileşimini arttırarak matrisi çok daha iyi çevrelediği belirtilebilir.

Seçilen takviye ve katkı malzemelerinin spesifik özellikleri ve miktarları açısından yırtılma dayanım sonuçları değişiklik sergilemektedir. Şekil 5'te kömür külü takviyeli bileşiklerde yırtılma testi dayanım sonuçları gösterilmiştir. Deney numunelerinin yırtılma testi dayanım sonuçları incelendiğinde, en fazla yırtılma dayanım sonucuna sahip bileşiğin TKK15 (24.36 kN/m) olduğu tespit edilmiştir. Bileşiklere ilave edilen kömür külü takviyesi artış gösterdiğinde, yırtılma dayanımlarının da oransal şekilde artış gösterdiği belirlenmiştir. Oluşan bu durum bileşik içerisinde ortaya çıkan çapraz bağ yoğunluklarının artmasından kaynaklı olarak belirtilebilir. Aynı zamanda takviye derecesi ve spesifik özelliklere dayanılarak, yırtılma kuvvetlerinin de değişiklik gösterebileceği ifade edilmiştir [38,39].



Şekil 4. TKK15 Takviyeli Bileşik EDS analizi ve elementel haritalama



Şekil 5. *Yırtılma Test Sonuçları*

SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Çalışmada ana matris bileşeni SBR kauçuğuna farklı oranlarda kömür külü takviyesi yapılarak mikroyapı, fiziksel ve mekanik özellikler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

SBR matrisli bileşiklerin içeriğinde yer alan takviye miktarı arttıkça çapraz bağ yoğunluğunun da bu duruma bağlantılı olarak artış sergilediği tespit edilmiştir. TKK0 bileşiğine kıyasla en yüksek kömür külü içeriği ile üretilen TKK15 numunesinde %61.5 oranında artış yaşanmıştır. Kömür külü içeriği artışına bağlı olarak yoğunluk değerlerinde artış sergilenirken, kömür külü içermeyen numuneye nazaran %9 artış oranı ile en yüksek yoğunluk sonucu 1.11 g/cm^3 olarak TKK15 bileşiğinde hesaplanmıştır. Deney numuneleri içerisinde en yüksek sertlik sonucu 67 Shore A olarak TKK15 bileşiğinde elde edilmiştir. En düşük sertlik sonucu ise 63 Shore A ve kömür külü takviyesinin bulunmadığı TKK0 bileşiğinde ölçülmüştür. Kopma dayanım sonucu açısından TKK15 bileşiği kopma dayanımının TKK0 bileşiğine kıyasla yaklaşık %24.8 oranında malzeme mukavemetini artırdığı belirlenmiştir. Ancak kopma dayanımının yanı sıra birim uzama değerinin ise kömür külünün maksimum %10' kadar daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Çapraz bağ yoğunluğu ile deney numunelerinin yırtılma dayanımının artışı üzerinde en önemli etkenlerden biri olduğu sonucu elde edilmiştir. Ortaya çıkan deneysel sonuçlar neticesinde çevreye ciddi anlamda zararı olan kömür külünün, SBR 1502 kauçuk matrisi içeren bileşiklerde tercih edilebilir ve iyi bir takviye malzemesi olabileceği belirlenmiştir.

Finansal destek (Funding)

Bu çalışma Doç. Dr. Şaban Bülbül' ün danışmanlığında Enes Ayhan'ın Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında 2022 yılında tamamladığı "Kauçuk Matris İçerisine Kömür Külü Takviyesinin Mekanik Özelliklere ve Çapraz Bağ Yoğunluğuna Etkisi" başlıklı Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

KAYNAKÇA (REFERENCES)

[1] Y. Uzun, H. Ergün, E. Şeker, Hikayeler İçin Artırılmış Gerçeklik Yaklaşımı, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 4 (2022), 1-7.

[2] M. Arroyo, M. Lopezmanchado, J. Valentin, J. Carretero, Morphology/behaviour relationship of nanocomposites based on natural rubber/epoxidized natural rubber blends, *Composites Science and Technology*. 67 (2007), 1330-1339. doi:10.1016/j.compscitech.2006.09.019.

[3] Kauçuk Sektör İzleme Raporu 2017.pdf, (t.y.). https://pagev.org/upload/files/Hammadde%20Yeni%20Tebli%C4%9F%20Bilg.%203/Kau%C3%A7uk%20Sekt%C3%B6r%20%C4%B0zleme%20Raporu%202017.pdf (erişim 19 Haziran 2023).

[4] M. Morton, Rubber Technology, *Springer Science & Business Media*, 2012.

[5] Elastomers and Rubber Compounding Materials - 1st Edition, (t.y.). https://shop.elsevier.com/books/elastomers-and-rubber-compounding-materials/franta/978-0-444-42994-0 (erişim 19 Haziran 2023).

[6] S.-J. Park, M.-K. Seo, C. Nah, Influence of surface characteristics of carbon blacks on cure and mechanical behaviors of rubber matrix compoundings, *Journal of Colloid and Interface Science*. 291 (2005), 229-235. doi:10.1016/j.jcis.2005.04.103.

[7] S.-S. Choi, S.-H. Ha, Influence of the swelling temperature and acrylonitrile content of NBR on the water swelling behaviors of silica-filled NBR vulcanizates, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 15 (2009), 167-170. doi:10.1016/j.jiec.2008.09.016.

[8] N. Suzuki, M. Ito, F. Yatsuyanagi, Effects of rubber/filler interactions on deformation behavior of silica filled SBR systems, *Polymer*. 46 (2005), 193-201. doi:10.1016/j.polymer.2004.10.066.

[9] B.T. Poh, C.C. Ng, Effect of silane coupling agents on the mooney scorch time of silica-filled natural rubber compound, *European Polymer Journal*. 34 (1998), 975-979. doi:10.1016/S0014-3057(97)00211-5.

[10] T. Jesionowski, A. Krysztafkiewicz, Influence of silane coupling agents on surface properties of precipitated silicas, *Applied Surface Science*. 172 (2001), 18-32. doi:10.1016/S0169-4332(00)00828-X.

[11] P. Sae-oui, C. Sirisinha, U. Thepsuwan, K. Hatthapanit, Roles of silane coupling agents on properties of silica-filled polychloroprene, *European Polymer Journal*. 42 (2006), 479-486. doi:10.1016/j.eurpolymj.2005.09.003.

[12] M. Abdelmouleh, S. Boufi, M. Belgacem, A. Dufresne, Short natural-fibre reinforced polyethylene and natural rubber composites: Effect of silane coupling agents and fibres loading, *Composites Science and Technology*. 67 (2007), 1627-1639. doi:10.1016/j.compscitech.2006.07.003.

[13] N. Seshaiah, N. Santhosh Kumar, M. Khadar Hussain Afrid, K. Sriram, K. Vinay, B. Sekhar Rahul, Investigation of cure behaviour and tensile properties of NR/SBR composite filled with carbon black and silica, *Materials Today: Proceedings*. 59 (2022), 387-391. doi:10.1016/j.matpr.2021.11.352.

[14] C. Jiang, J. Bo, X. Xiao, S. Zhang, Z. Wang, G. Yan, Y. Wu, C. Wong, H. He, Converting waste lignin into nano-biochar as a renewable substitute of carbon black for reinforcing styrene-butadiene rubber, *Waste Management*. 102 (2020), 732-742. doi:10.1016/j.wasman.2019.11.019.

[15] J. Tan, H. Cheng, L. Wei, C. Wei, Y. Xing, X. Gui, Using low-rank coal slime as an eco-friendly replacement for carbon black filler in styrene butadiene rubber, *Journal of Cleaner Production*. 234 (2019), 949-960. doi:10.1016/j.jclepro.2019.06.221.

[16] D. Roucou, J. Diani, M. Brieu, D. Colombo, Experimental identification of fracture toughness of a carbon black-filled styrene butadiene rubber undergoing energy dissipation by Mullins softening, *Mechanics of Materials*. 151 (2020), 103645. doi:10.1016/j.mechmat.2020.103645.

[17] M. Uyaner, A. Yar, Nano Elyaf Takviyeli Nanokompozit Üretimi ve Karakterizasyonu, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 1 (2019), 10-19.

[18] S.Ş. Kaya, K. Alaykiran, Hata Türü ve Etkileri Analizi ve Döküm Sektöründe Bir Uygulama, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 1 (2019), 76-89.

[19] S. Bulbul, M. Ergun, Effect of mica powder-filled styrene-butadiene rubber compounds on crosslink density and mechanical properties, *Thermal Science*. 26 (2022), 3019-3028. doi:10.2298/TSCI2204019B.

[20] Ş. Bülbül, S.S. Büyük, The crosslinking and mechanical properties of SBR compounds with the addition of carburized pine nut cone ash, *Journal of Elastomers & Plastics*. 54 (2022), 906-921. doi:10.1177/00952443221102585.

[21] S. Bülbül, Improving the crosslink density and the mechanical properties after vulcanization for an iron oxide layer (scale) and SBR/rubber masterbatch, *Materiali in tehnologije*. 54 (2020), 71-78. doi:10.17222/mit.2019.129.

[22] Ş. Bülbül, N. Akçakale, M. Yaşar, H. Gökmeşe, The effect of wood ash on the mechanical properties of rubber compounds, *materiali in tehnologije*. 53 (2019), 333-339. doi:10.17222/mit.2018.126.

[23] Ş. Bülbül, N.Akçakale, The Production and mechanical Properties of carburized Corn Cob Ash added Rubber Compounds, *KGK Kautschuk Gummi Kunststoffe*. 72 (2019), 30-35.

[24] S. Bulbul, N. Akcakale, H. Gokmese, O. Gok, M. Yasar, The effect on hardness and density of filling materials in NR/SBR rubber compounds, *International Advanced Researches and Engineering Journal*. 1 (2017), 1-4.

[25] N. Akçakale, Ş. Bülbül, The Effect of Mica Powder and Wollastonite Fillings on the Mechanical Properties of NR/SBR Type Elastomer Compounds, *Journal of Rubber Research*. 20 (2017), 157-167. doi:10.1007/BF03449149.

[26] M. Hernández Santana, M. Huete, P. Lameda, J. Araujo, R. Verdejo, M.A. López-Manchado, Design of a new generation of sustainable SBR compounds with good trade-off between mechanical properties and self-healing ability, *European Polymer Journal*. 106 (2018), 273-283. doi:10.1016/j.eurpolymj.2018.07.040.

[27] S.-S. Choi, J.-C. Kim, Lifetime prediction and thermal aging behaviors of SBR and NBR composites using crosslink density changes, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 18 (2012), 1166-1170. doi:10.1016/j.jiec.2012.01.011.

[28] J. Machotová, A. Kalendová, M. Voleská, D. Steinerová, M. Pejchalová, P. Knotek, L. Zárybnická, Waterborne hygienic coatings based on self-crosslinking acrylic latex with embedded inorganic nanoparticles: a comparison of nanostructured ZnO and MgO as antibacterial additives, *Progress in Organic Coatings*. 147 (2020), 105704. doi:10.1016/j.porgcoat.2020.105704.

[29] R. Mounir, M. Mohamed, M. El-Zaya, Thermal and Physico-Mechanical Properties of Irradiated Aluminum Oxide Filled Ethylene Propylene Diene Monomer Rubber Composites, *Arab Journal of Nuclear Sciences and Applications*. 0 (2021), 1-7. doi:10.21608/ajnsa.2021.62040.1444.

[30] J.-Y. Lee, N. Park, S. Lim, B. Ahn, W. Kim, H. Moon, H. Paik, W. Kim, Influence of the silanes on the crosslink density and crosslink structure of silica-filled solution styrene butadiene rubber compounds, *Composite Interfaces*. 24 (2017), 711-727. doi:10.1080/09276440.2017.1267524.

[31] L.C. Sim, S.R. Ramanan, H. Ismail, K.N. Seetharamu, T.J. Goh, Thermal characterization of Al2O3 and ZnO reinforced silicone rubber as thermal pads for heat dissipation purposes, *Thermochimica Acta*. 430 (2005), 155-165. doi:10.1016/j.tca.2004.12.024.

[32] W. Jansomboon, P. Prapainainar, S. Loykulnant, P. Kongkachuichay, P. Dittanet, P. Kumnorkaew, Z. Li, I. Kinloch, R.J. Young, Raman spectroscopic study of reinforcement mechanisms of electron beam

radiation crosslinking of natural rubber composites filled with graphene and silica/graphene mixture prepared by latex mixing, *Composites Part C: Open Access*. 3 (2020), 100049. doi:10.1016/j.jcomc.2020.100049.

[33] S. Debnath, S.K. De, D. Khastgir, Effect of silane coupling agent on vulcanization, network structure, polymer-filler interaction, physical properties and failure mode of mica-filled styrene-butadiene rubber, *Journal of Materials Science*. 22 (1987), 4453-4459. doi:10.1007/BF01132046.

[34] R.S.A. Afia, E. Mustafa, Z.Á. Tamus, Condition Monitoring of Photovoltaic Cables Based Cross-Linked Polyolefin Insulation Under Combined Accelerated Aging Stresses: Electrical and Mechanical Assessment, *Energy Reports*. 8 (2022), 1038-1049. doi:10.1016/j.egyr.2021.11.122.

[35] D. Min, C. Yan, Y. Huang, S. Li, Y. Ohki, Dielectric and Carrier Transport Properties of Silicone Rubber Degraded by Gamma Irradiation, *Polymers*. 9 (2017), 533. doi:10.3390/polym9100533.

[36] M. Celina, K.T. Gillen, J. Wise, R.L. Clough, Anomalous aging phenomena in a crosslinked polyolefin cable insulation, *Radiation Physics and Chemistry*. 48 (1996), 613-626. doi:10.1016/0969-806X(96)00083-7.

[37] H. Nabil, H. Ismail, C.T. Ratnam, Simultaneous Enhancement of Mechanical and Dynamic Mechanical Properties of Natural Rubber/Recycled Ethylene-Propylene-Diene Rubber Blends by Electron Beam Irradiation, *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*. 19 (2014), 272-285. doi:10.1080/1023666X.2014.880023.

[38] F. Findik, R. Yilmaz, T. Köksal, Investigation of mechanical and physical properties of several industrial rubbers, *Materials & Design*. 25 (2004), 269-276. doi:10.1016/j.matdes.2003.11.003.

[39] C. Yeswin, D.B.S. Vamsi, B.N. Vijay, I. Naveen, P.S.P. Reddy, N. Rahulan, Physical properties of nano Al2O3 reinforced NBR/SBR blends, *Materials Today: Proceedings*. 52 (2022), 2273-2278. doi:10.1016/j.matpr.2021.08.241.

Necmettin Erbakan Üniversitesi
Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi
Journal of Science and Engineering (NEJSE)
DOI: 10.47112/neufmbd.2023.15

Cilt: 5 Sayı:2 Yıl: 2023 | Araştırma Makelesi / Research Article | E-ISSN: 2667- 7989

Hassas Nokta Konumlamada (PPP) Hata Kaynaklarının Konum Doğruluğuna Etkisi: PPPH Yazılımı Örneği

Nezih Furkan ERBAŞ [1] **İbrahim KALAYCI** [2]

[1] Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, Türkiye, furkanerbas999@gmail.com *(Sorumlu Yazar/ Corresponding Author)*

[2] Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, ikalayci@erbakan.edu.tr

Makale Bilgileri

Makale Geçmişi
Geliş: 28.06.2023
Kabul: 21.09.2023
Yayın: 31.12.2023

Anahtar Kelimeler:
CSRS-PPP, PPPH, Troposferik.

ÖZ

Son yıllarda Hassas Nokta Konumlama (Precise Point Positioning, PPP) yöntemiyle gerçek zamanlı (real-time) ve ölçü sonrası(post processing) değerlendirme uygulamaları yaygın hale gelmiştir. PPP yönteminin diğer konum belirleme tekniklerine göre bir ya da daha fazla referans istasyonuna gerek duymadan, tek bir GNSS alıcısıyla dm/cm seviyesinde yüksek konum bilgisi elde edilerek maliyet ve zamandan avantaj sağladığı görülmüştür. Çalışma kapsamında ölçü sonrası-PPP (Post Processing, PP-PPP) tekniği ile konum bilgisi elde etmeye imkân sağlayan PPPH yazılımı kullanılarak PPP hata kaynaklarının nokta konum doğruluklarına etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla BALK, SINP, YOZ1, IGR1 ve ONIY TUSAGA-Aktif istasyonlarının on günlük (3.04.2021-12.04.2021) gözlem verileri analiz edilmiştir. Değerlendirmede çoklu-GNSS gözlemleri yerine, tercihen ve herhangi bir sebep olmaksızın sadece-GPS uydu sistemi kullanılmıştır. PPPH yazılımından elde edilen sonuçlar istasyonların CSRS-PPP servisinin referans koordinat değerleriyle karşılaştırılmıştır. Çalışmada karesel ortalama hata değerleri dikkate alınarak troposferik gecikme düzeltmesinde yatayda ortalama 0.8 cm ve düşeyde 10.6 cm konum doğruluğuna ulaşılırken, rölativistik mesafe düzeltmesinde sırasıyla 0.75 cm ve 1.0 cm konum doğruluğu elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar troposferik gecikme düzeltmesi hata kaynağının konum doğruluğunda en fazla etkiye, rölativistik mesafe düzeltmesi hata kaynağının ise konum doğruluğunda en az etkiye sahip olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

The Effect of Error Sources on Position Accuracy in Precise Point Positioning (PPP): The Case of PPPH Software

Article Info

Article History
Received: 28.06.2023
Accepted: 21.09.2023
Published: 31.12.2023

Keywords:
CSRS-PPP, PPPH, Trophospheric.

ABSTRACT

In recent years, real-time and post-processing evaluation applications have become common with the Precise Point Positioning (PPP) method. It has been seen that the PPP method provides cost and time advantages by obtaining high position information at the level of dm/cm with a single GNSS receiver, without the need for one or more reference stations compared to other positioning techniques. Within the scope of the study, it was aimed to determine the effect of PPP error sources on point location accuracies by using PPPH software, which allows obtaining position information with the post-measurement-PPP (Post Processing, PP-PPP) technique. For this purpose, ten-day (3.04.2021-12.04.2021) observation data of BALK, SINP, YOZ1, IGR1 and ONIY TUSAGA-Aktif stations were analyzed. In evaluation used only-GPS satellite system preferably and without any reason, instead of multi-GNSS observations. The results obtained from the PPPH software were compared with the reference coordinate values of the CSRS-PPP service of the stations. Considering the root mean square error values in the study, an average position accuracy of 0.8 cm horizontally and 10.6 cm vertically was achieved in the tropospheric delay correction, while a position accuracy of 0.75 cm and 1.0 cm was achieved in the relativistic distance correction respectively. The obtained results clearly demonstrate that tropospheric delay correction has the most impact on the location accuracy of the error source, while relativistic distance correction has the least impact on the location accuracy of the error source.

Atıf/Citation: Erbaş, N.F. & Kalaycı, İ. (2023). Hassas nokta konumlamada (PPP) hata kaynaklarının konum doğruluğuna etkisi: PPPH yazılımı örneği, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, *5*(2), 147-161. https://doi.org/10.47112/neufmbd.2023.15

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

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle arazi sınırlarının belirlenmesi, deprem büyüklüğü, araç takip sistemi, sivil-bilimsel çalışmalar gibi Küresel Konum Belirleme Sistemi (Global Navigation Satellite Systems, GNSS) donanım ve yazılımlarına yönelik kullanımlar yoğunlaşmıştır. Aynı zamanda hem ölçü sonrası (ofiste/büroda) hem de gerçek zamanlı kinematik tekniği, arazide toplanan GNSS uydu sistemlerindeki verilerin koordinatlarını uygulayarak kullanıcılar için kolay ve pratik çözümler sunmuştur. Diğer taraftan uygulamaların geliştirilmesi ve teknolojinin ilerlemesiyle birlikte GNSS/GPS konum belirleme yöntemlerinden Hassas Nokta Konumlama (Precise Point Positioning, PPP) tekniğine yönelik çalışmalar yaygın hale gelmiştir. PPP, çift frekanslı tek bir GNSS alıcısıyla ölçüm süresi ve kullanılan veriye (kod/taşıyıcı faz – tek frekans/çift frekans) bağlı olarak iyonosferden bağımsız kombinasyonlarla (ionosphere-free) fark alınmaksızın, dm/cm seviyesinde yüksek konum doğruluğu elde eden, zaman ve maliyetten avantaj/tasarruf sağlayan bir yöntemdir. PPP yöntemiyle ilgili yapılan çalışmalar genel olarak incelendiğinde daha çok yakınsama süresi çoklu GNSS çözümlerinin konum doğruluğuna ve yakınsama süresine etkisi troposferik ve iyonosferik hataların koordinat kestirimine ilişkin konular üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir [1-6].

Kahveci [7], 128 IGS noktasının GAMIT/GLOBK yazılımında 1996'dan beri süregelen 4.5 yıllık verileri incelenmiştir. 128 IGS noktası için kutup gelgiti ve okyanus gelgiti düzeltmeleri, yörünge, faz merkezi ve troposferik gecikme düzeltmesi uygulanmıştır. Sonuç olarak kutup gelgiti düzeltmelerinde yaklaşık 0.4 cm, okyanus gelgiti düzeltmelerinde 0.01 cm bir büyüklük meydana gelirken, uydu yörünge, uydu faz merkezi ve troposferik gecikme düzeltmesinde ise kesin bir sonucun ve büyüklüğün olmadığını belirtmişlerdir. Li ve Zhang [8], PPP tekniğiyle uydu yörünge ve saat bilgileri, kalibrasyona uğramamış faz gecikmesi/düzeltmeleri üreterek konum doğrulukları elde etmişlerdir. Sonuç olarak ortalama beş saniye sonra sabitlemenin yapılabildiğini ve konum doğruluklarını ise kuzey, doğu ve düşey yönde sırasıyla 10 mm, 12 mm ve 25 mm olarak elde etmişlerdir. Malinowski ve Kwiecień [9], ölçü sonrası (post-process) ölçümde hızlı gelişen ürünler kullanarak sonuçları beklemeksizin PPP yöntemiyle yüksek konum doğruluğu elde etmenin mümkün olabildiğini ve PPP algoritmalarında hızlı meydana gelen ürünlerde ölçü sonrası nihai ürünleri kullandıkları için elde edilen koordinatların birbirlerine daha yakın konumsal doğruluk sağladıklarını göstermişlerdir. Bolbol vd. [10], PPP yöntemini statik ve kinematik ölçüm modunda GPS ve GLONASS uydu sistemleri kullanarak yakınsama süresiyle ilgili araştırmalar yapmışlardır. Çalışma sonucunda araştırmacılar PPP tekniğinin kinematik ölçüm modunda yakınsama süresini iyileştirmediğini ancak statik ölçüm modundaki yakınsama süresinde iyileşme olduğunu belirtmişlerdir. Bahadur ve Nohutcu [11], Türkiye ve yakın bölgeler için çoklu-GNSS uydu sistemlerinin PPP yöntemine olan etkisini araştırmışlardır. 7 günlük gözlem dosyalarını 9 farklı PPP yaklaşımı altında PPPH yazılımında değerlendirmişlerdir. Değerlendirmelerinde yazılımdan uydu ve alıcı anten faz merkezi düzeltmesi, rölativistik düzeltmeler, faz dönüklüğü düzeltmesi ve katı-yer gelgiti hata kaynakları uygulanmıştır. Uygulama sonucunda çoklu-GNSS gözlemlerinin PPP performanslarının sadece-GPS gözlemlerine göre daha yüksek iyileştirme sağladığını göstermişlerdir. Bahadur ve Nohutcu [12], farklı robust kalman filtresi tekniğinin PPP yöntemine olan etkilerini araştırmışlardır. Çalışmalarında rölativistik düzeltme, faz dönüklüğü düzeltmesi, katı-yer gelgiti düzeltmesi, uydu anten faz merkezi düzeltmesi ve alıcı anten faz merkezi düzeltmesi uygulamışlardır. Statik PPP çözümlerinde robust kalman filtresi tekniğinin yakınlaştırma süresinde daha iyi iyileştirme sağladığını belirtmişlerdir. Guanbin vd. [13], Bölgesel PPP-RTK atmosferik modelleme için gözlemler olarak tahmini iyonosferik ve troposferik gecikme hatası kullanılmıştır. Çalışmalarında 646 set PPP-RTK deneyi oluşturmuşlardır. Şangay'da CORS ağı kullanılarak yaptıkları deney sonuçlarında GPS, Galileo ve BDS sistemlerinin hem iyonosferik hem de troposferik modelinin birkaç mm'lik bir doğruluk elde ettiğini tespit etmişlerdir. Yatay koordinatlar için tüm çözümlerin %89,16'sı 30 saniyede, %91,80'i 1 dakikada ve %95,98'i 2 dakikada oluştuğunu belirtmişlerdir. Li vd. [14], Asya-Pasifik bölgesindeki GPS, GPS/QZSS, BDS, BDS/QZSS, GLONASS ve GALİLEO donanımlarını statik ve kinematik PPP performanslarıyla değerlendirmişlerdir. Statik PPP için konum doğruluğunda GPS'in GLONASS'tan daha iyi olduğunu, kinematik PPP'de ise doğu ve kuzey yöndeki bileşenlerde GPS'in, yukarı bileşende de BDS'nin Galileo'dan daha iyi olduğunu elde etmişlerdir. Ayrıca yakınsama süresini iyileştirme açısından kinematik PPP performansının daha yüksek olduğunu

belirtmişlerdir. Wu vd. [15], araştırmada beş frekanslı (FF1, FF2, FF3, FF4 ve FF5) PPP modellerinin statik ve kinematik ölçüm modlarını farklı konumlandırma performansı açısından incelemişlerdir. Statik ölçüm modunda beş frekanslı PPP modellerinden FF5 frekansının yakınsama süresi ve konum doğruluğunda iyileştiğini, kinematik ölçüm modunda ise FF3 frekansının yakınsama süresinde ve konum doğruluğunda iyileşme olduğunu göstermişlerdir.

Yapılan literatür çalışmalarında PP-PPP (ölçü sonrası, Post Process-PPP) yöntemi kullanılarak PPP hata kaynaklarının nokta konum belirlemeye olan etkilerinin karşılaştırmalı olarak detaylı bir şekilde incelenmediği, PPP hata kaynaklarının konum doğruluklarının istasyon bazlı olarak ele alınmadığı görülmüştür. Bu amaçla çalışmada öncelikle Türkiye'de bulunan 5 TUSAGA-Aktif istasyonu seçilerek PP-PPP yöntemiyle 10 günlük veri setinin (03.04.2021-12.04.2021) koordinat değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bu koordinatlar sadece-GPS uydu sistemiyle, statik ölçüm modunda, 24 saatlik 30 saniyelik epok aralıklarında değerlendirilmiştir. PPPH yazılımından elde edilen kartezyen koordinatlardan ve referans değerlerden olan farkları gösteren toposentrik koordinat bileşenleri elde edilmiştir. Elde edilen bu bileşenlerden karesel ortalama hata (Root Mean Square (RMS), KOH) değerleri hesaplanarak PPP hata kaynaklarının konum doğruluklarına olan etkileri, istasyonların doğu-batı ve kuzey-güney yönlü seçilerek PPP hata kaynaklarının birbirlerine göre konum doğruluklarının artış/azalış durumları karşılaştırmalı bir yaklaşımla incelenmiştir. Aynı zamanda çalışmada 10 günlük veri setinin 24 saatlik Kp indisi (Planetary K-index) ve Dst indisi (Disturbance storm time-index) değerleri elde edilerek manyetik fırtınalara olan etkileri (fırtına seviyesinin altında, sakin, zayıf, orta şiddetli, güçlü ve aşırı fırtına) belirlenmiştir.

MATERYAL VE METOT (MATERIALS AND METHODS)

Hassas Nokta Konumlama (PPP)

Hem mutlak konum belirleme yöntemi hem de sıfır fark yönteminin özel bir durumu olarak bilinen, taşıyıcı dalga faz ile kod gözlemlerinin uygulandığı PPP yöntemi, sabit istasyon ve eş zamanlı gözlem gerekmeksizin tek bir GNSS alıcısıyla çözümler elde eden, zaman ve maliyetten avantaj/tasarruf sağlayan bir ölçü tekniğidir [16-18]. PPP'nin tarihsel gelişim süreci Anderle (1976) ile başlamıştır [19]. PPP'nin GPS ile ilgili olduğunu içeren ilk çalışma 1997 yılında Zumberge ve arkadaşları tarafından yapılmaya başlanmıştır. Çalışmalarında PPP'nin kuramsal temelini taşıyıcı dalga faz ve kod gözlemleri kullanarak iyonosferden bağımsız kombinasyonlar ile modelleme yapılması sonucu oluşturmuşlardır [20]. Zamanla PPP yönteminin birçok farklı uygulamada gelişmeleri sağlanmıştır [20-25]. PPP' nin tanımı SPP (Tek Nokta Konumlama) prensibi benzerliğiyle karşılaştırılarak gerçekleştirilmiştir [20]. SPP, tek bir alıcı kullanılarak navigasyon mesajında gösterilen uydu yörünge parametrelerinin sabit (fixed) alındığı, mutlak konumlama tekniğiyle nokta konum doğruluğunun elde edildiği bir yöntemdir. PPP yönteminin SPP yönteminden iki önemli farkı bulunmaktadır. Bunlardan birincisi; iyonosferik-troposferik gecikmeler, hassas uydu saat/yörünge hatalar ile diğer modellenmemiş bozulmaları gideremeyen ya da en aza indirgemeyen SPP tekniğinin geliştirilmiş durumudur. Diğer ikincisi de; SPP tekniğinde yalnızca C/A kod gözlemleri kullanılarak mm düzeyinde hataların meydana gelmesi, PPP yönteminde ise hassas uydu yörünge/saat bilgilerinin kod ve faz gözlemleri kullanılarak cm düzeyinde hataların olmasıdır [26]. PPP'de ultra-rapid, rapid ve final etkileri olan hassas yörünge ve saat bilgileri yayın efemerisi yerine kullanılır. PPP yönteminin dezavantajı; tam sayı belirsizlik çözümünün (float ambiguity-AR) GNSS'in meydana getirdiği hatalardan dolayı bilinmeyen ya da kesirli sayı olarak çözülmesidir. [21, 27]. Dolaysıyla tamsayı belirsizlik çözümü için yakınsama süresi uzun olacağından gerçek zamanlı PPP yönteminin kullanılması kısıtlanmıştır.

Eşitlik (1)'de çift frekanslı iyonosferden bağımsız (ionosphere-free) kombinasyonlarla taşıyıcı kod ve faz gözlemlerinde PPP yönteminin matematiksel gösterimi verilmektedir.

$$l\_P=\rho+c(dT-dt)+T\_r+\varepsilon\_p$$

$$l\_\phi=\rho+c(dT-dt)+T\_r+〚N\lambda+\varepsilon〛\_\phi \quad (1)$$

Burada l_P ve l_ϕ; sırasıyla iyonosferden bağımsız kod ve faz gözlemlerini, ρ; geometrik uzaklığı, dt ve dT; sırasıyla alıcı saat zamanı ve uydu saat zamanının GPS zamanı arasındaki farkını, c; boşluktaki ışık hızını,

N; iyonosferden bağımsız taşıyıcı faz gözlem belirsizliğini, T_r ; uydu ölçü arasında oluşan sinyal gecikmesini, λ; dalga boyunu ε_p ve ε_ϕ ; sırasıyla kod ve faz gözlemlerinin gürültü bileşenlerini ifade etmektedir [28].

Eşitlik (2)'de ise, troposferik gecikmenin (ztd), haritalama fonksiyonu (M) ile bilinen uydu koordinatları alındığında meydana gelen matematiksel model gösterilmektedir [28].

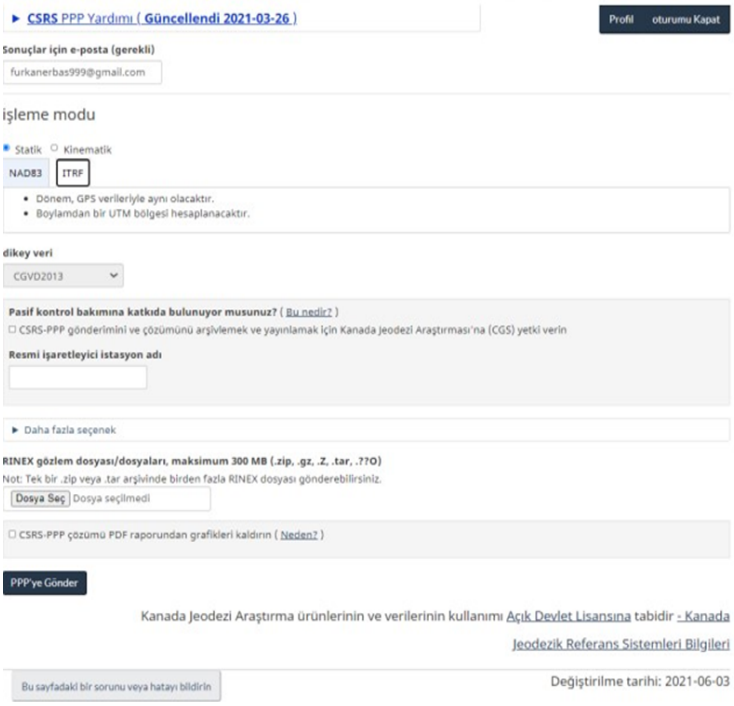
$$fp = + cdt + Mzpd + \varepsilon\_p - \ell p = 0$$

$$f\phi = + cdt + Mzpd + N\lambda + \varepsilon\_\phi + l\_\phi = 0 \quad (2)$$

Eşitlik (1) ve (2)' ye ilişkin detaylı matematiksel model Alçay vd. [28]'de detaylı olarak ifade edilmiştir.

CSRS-PPP (Canadian Spatial Reference System-PPP) Servisi

CSRS-PPP, 2003 yılında NRCan (Natural Resources Canada) tarafından basit bir ara yüzle kullanıcılara sunulan dünyada en çok tercih edilen web tabanlı GNSS değerlendirme servisidir. Servis tek veya çift frekanslı statik ve kinematik ölçüm modunda toplanan verileri ile gözlem dosyalarını NAD83 ya da ITRF koordinat sistemi, RINEX veri formatında (gzip, zip) hızlı bir şekilde kaydetmektedir. Hassas uydu saat ve yörünge bilgilerinin yanında uydu efemeris bilgilerini de Final, Rapid veya UltraRapid olarak kullanarak PPP hata kaynaklarına imkân sağlamaktadır. Bu servisi kullanabilmek için kullanıcıların ilk olarak [29] adresinden ücretsiz üye olmaları gerekmektedir [28,31]. CSRS-PPP servisi kullanıcı web ara yüzü Şekil 1'de gösterilmiştir.

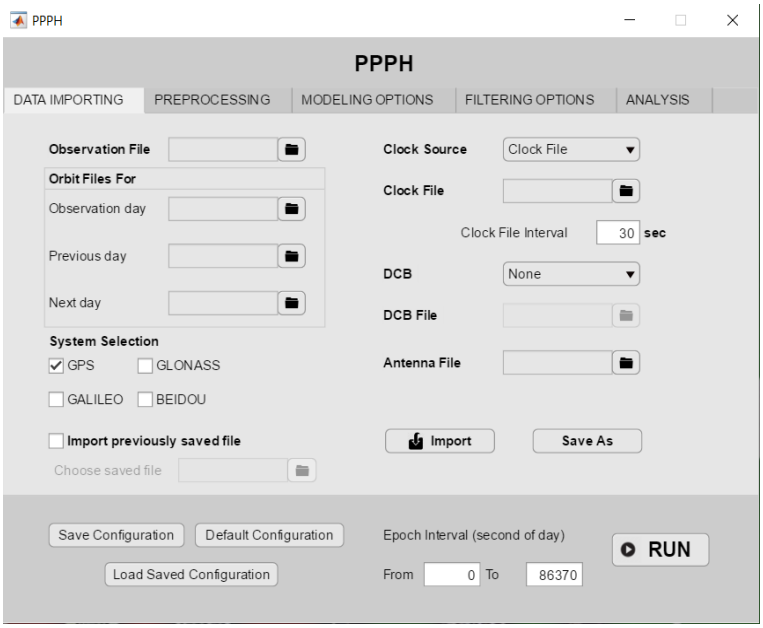


Şekil 1. *CSRS-PPP servisi kullanıcı web ara yüzü*

PPPH (A MATLAB-based Software for Multi-GNSS Precise Point Positioning Analysis) Yazılımı

PPPH, çoklu-GNSS (GPS, GLONASS, Galileo ve BeiDou) uydu sistemlerini işleyerek kullanıcılara çözümler sunan, çoklu işlemlerin yapılabildiği bir GNSS-PPP yazılımıdır. Bu yazılım Duyarlık Kaybı (Dilution of Precision, DOP) olarak adlandırılan uydu geometrisinin ve navigasyon ölçümlerinin konum doğruluklarına yapılan etkilerde kullanıldığı bir uygulamadır. Kullanıcı ara yüzünden dolayı kullanıcılara PPP aşamasıyla ilgili modellemeler, parametreler, filtrelemeler ve seçenekler aktarmaktadır. Yapısı Matris tabanlı olduğu için MATLAB programlama dilinde geliştirilmiştir. MATLAB programlama dili dışında herhangi bir araç kutusu ya da işleve gereksinim duymamaktadır. Yazılım için MATLAB 2016a veya daha yeni bir sürümün desteklenmesiyle kullanıcı ara yüzleri okunur ve çalıştırılır. Beş ana bileşenden veri girişi, ön işleme, modelleme, filtreleme ve analiz seçeneklerinden oluşmaktadır. Bunlardan veri girişi (Data Impoting),

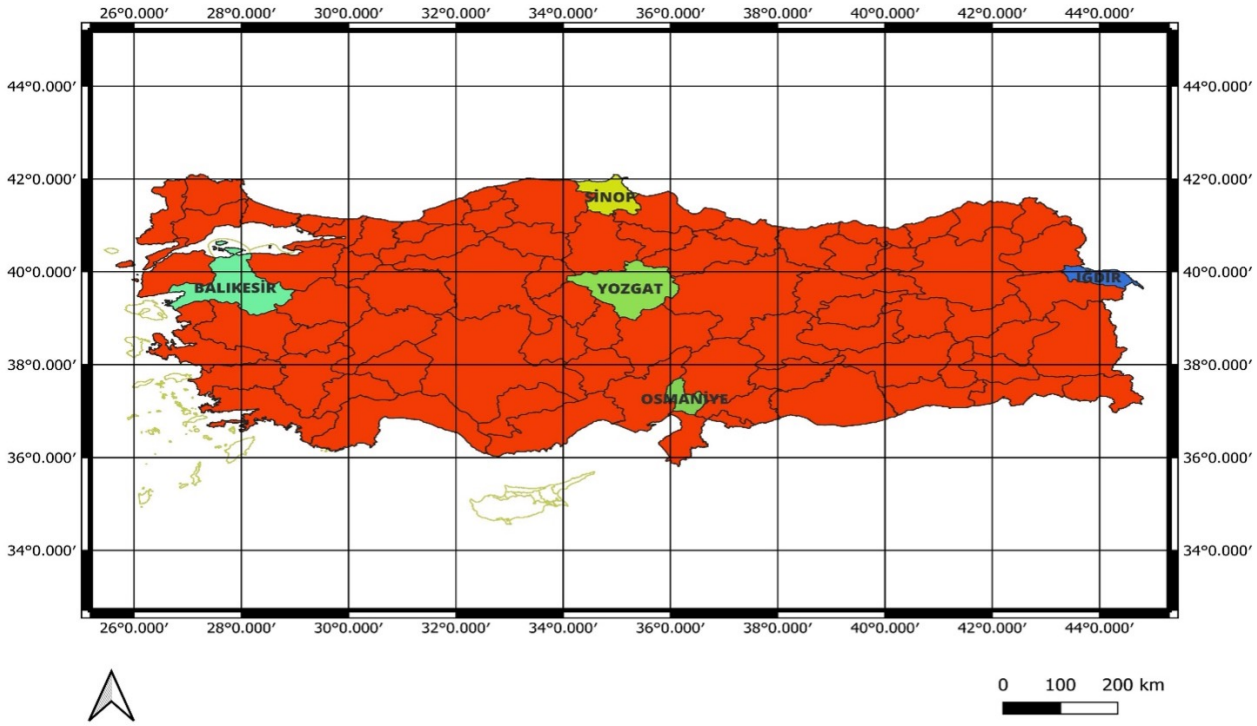
yazılımın ilk bileşeni olup PPP yönteminin aşamalarını farklı bir formatta sürdürerek diferansiyel kod gözlemleri, hassas uydu yörünge ve saat bilgileri, gözlem dosyaları ve anten faz düzeltmeleri PPPH yazılımına sunmaktadır. RINEX (Receiver Independed Exchange Format), gözlem dosyası (sp3), saat dosyası (clk), anten dosyası (atx) gibi veri formatları yazılımı aktif hale getirmektedir. İkinci bileşen olan ön işleme (Preprocessing); RINEX veri formatı, GNSS uydu sistemleri için standarttır. Yazılım multi-GNSS uydu sistemleri için RINEX 2 ya da RINEX 3 veri formatında gösterilmiştir. RINEX veri formatındaki herhangi bir gözlem dosyası format seçim bölümünde tercih edilebilir. Üçüncü bileşen olan modelleme seçenekleri (Modelling Options), tercih edeceğimiz ya da kullanacağımız PPP hata kaynaklarını ve bu hata kaynaklarından ne gibi sonuçların elde edileceğini göstermektedir. Dördüncü bileşen olan filtreleme seçenekleri (Filtering Options), yazılımda aktarılabilir kalman filtreleme tekniğini uygular ve ölçümlerde denk olan ağırlık matrisi, gözlem ve tahmin edilen parametrelerin etkilerini eşitlemek için uyarlanmaktadır. Kalman filtresi, iyi tanımlanmış bilinmeyen parametrelerin ve ölçümlerin istatistiksel özelliklerini ortaya çıkarır. Filtreleme işlemi de yazılımı aktif hale getirerek kalman filtre seçeneklerini ve parametrelerini uygulamaktadır. Son bileşen olan analiz işlemi (Analysis)'nde ise, CSRS-PPP servisinden sağlanan referans koordinatlardan (X, Y, Z) kuzey (n), doğu (e) ve yukarı (u) bileşenlerini ifade eden toposentrik koordinatlara dönüşüm sağlanmaktadır. Çünkü bu dönüşümler referans değerlerden olan farkları temsil etmektedir. Yazılımdaki ilk dört bileşende ilgili modeller ve kuram/teori uygulanırken, analiz işleminde görselleştirme ve değerlendirme süreçleri uygulanmaktadır [32, 33]. PPPH yazılımın MATLAB programlama dilindeki genel görünümü ve uygulandığı beş ana bileşen Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. *PPPH yazılımının genel görünümü ve beş ana bileşeni*

UYGULAMA (APPLICATION)

Bu çalışmada sadece-GPS gözlemi ile PP-PPP yöntemi kullanılarak PPPH yazılımı ile PPP hata kaynaklarının performanslarını değerlendirerek nokta konum doğruluğuna etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda Türkiye'den Balıkesir'de bulunan BALK, Sinop' ta bulunan SINP, Yozgat' ta bulunan YOZ1, Iğdır' da bulunan IGR1 ve Osmaniye' de bulunan ONIY olmak üzere 5 TUSAGA-Aktif (CORS-TR) istasyonları seçilmiştir. Seçilen istasyonların dağılımı Şekil 3'te verilmiştir. Bu istasyonların seçilmesinin iki temel sebebi olup, bunlardan birincisi CSRS-PPP servisinde 24 saatlik 30 saniyelik epok aralıklarında ölçülmüş referans koordinatlarının olması, ikincisi ise PPP hata kaynaklarının seçilen istasyonlarda konum doğruluklarının doğu-batı ve kuzey-güney yönde artış/azalış durumlarının incelenmesidir. Çalışma kapsamında kullanılan istasyonlara ilişkin coğrafi koordinat bilgileri Tablo 1'de gösterilmiştir.



Şekil 3. *Çalışmada kullanılan istasyonlar ve konumları*

TUSAGA-Aktif (CORS-TR) İSTASYONLARI	ENLEM(º)	BOYLAM(º)	YÜKSEKLİK(m)
BALK (BALIKESİR)	39.63	27.89	202.49
SINP (SİNOP)	42.03	35.15	54.57
YOZ1 (YOZGAT)	39.83	34.84	1455.68
ONIY (OSMANİYE)	37.10	36.25	127.22
IGR1 (IĞDIR)	39.93	44.05	881.05

BULGULAR (RESULTS)

Çalışmada PPP hata kaynaklarının performansı, 03.04.2021 tarihinden 12.04.2021 tarihine kadar 10 günlük gözlem veri seti kullanılarak statik ölçüm modunda PP-PPP yöntemiyle değerlendirilmiştir. MATLAB tabanlı PPPH yazılımında herhangi bir işlem yapılmadan önce GNSS Takvimi ve Uygulamasından 10 günlük veri setinin GPS haftası ve numarası belirlenmiştir. Bunlardan uydu yörünge (.sp3) ve saat dosyaları (.clk) çıkartılarak CDDIS (The Crustal Dynamics Data Information System) arşivinde bulunması sonucunda PPPH yazılımına yüklenmiştir. 5 TUSAGA-Aktif istasyonlarının 10 günlük veri setinde 30 saniyelik ölçüm aralıklarında RINEX veri formatında dosyalar yüklenmiştir. Statik ölçüm modu, Uluslararası Yersel Referans Çerçevesi (International Terrestrial Reference Frame, ITRF) koordinat sistemi ve 30 saniyelik ölçüm aralıklarında yüklenen RINEX veri dosyaları '.zip' veya '.tar' olarak CSRS-PPP servisine gönderilerek gerçek/referans koordinat sistemine dönüşüm gerçekleştirilmiştir. Çalışmada 10 günlük veri setinin kullanılmasının iki temel sebebi bulunmaktadır. Bunlardan birincisi 10 günlük veri setinin istatistiki olarak yeterli olması, ikincisi ise RINEX verisi dosyalarının doluluk oranı %95'ten büyük olanlar değerlendirme işleminde kullanıldığı için seçilen 5 TUSAGA-Aktif istasyonlarının [34] adresinin CDDIS (The Crustal Dynamics Data Information System) arşivinde %100 oranına ulaştığı gözlemlenmiş ve değerlendirmede kullanılmıştır. İstasyonlara ait koordinat değerleri 10 günlük verileri dikkate alınarak PPPH yazılımıyla 24 saatlik 30 saniye kayıt aralıklarında elde edilmiştir. Yazılım kullanılırken seçilen parametreler verilmiştir (Tablo 2). Yazılımda epok aralığı, uydu sistemi, yöntem gibi değişkenler Tablo 2'de verilmiştir. Diğer parametrelerde yazılım standart/varsayılan seçenekleri sağlamıştır.

Tablo 2. *Çalışmada kullanılan yazılım ve parametre seçenekleri*

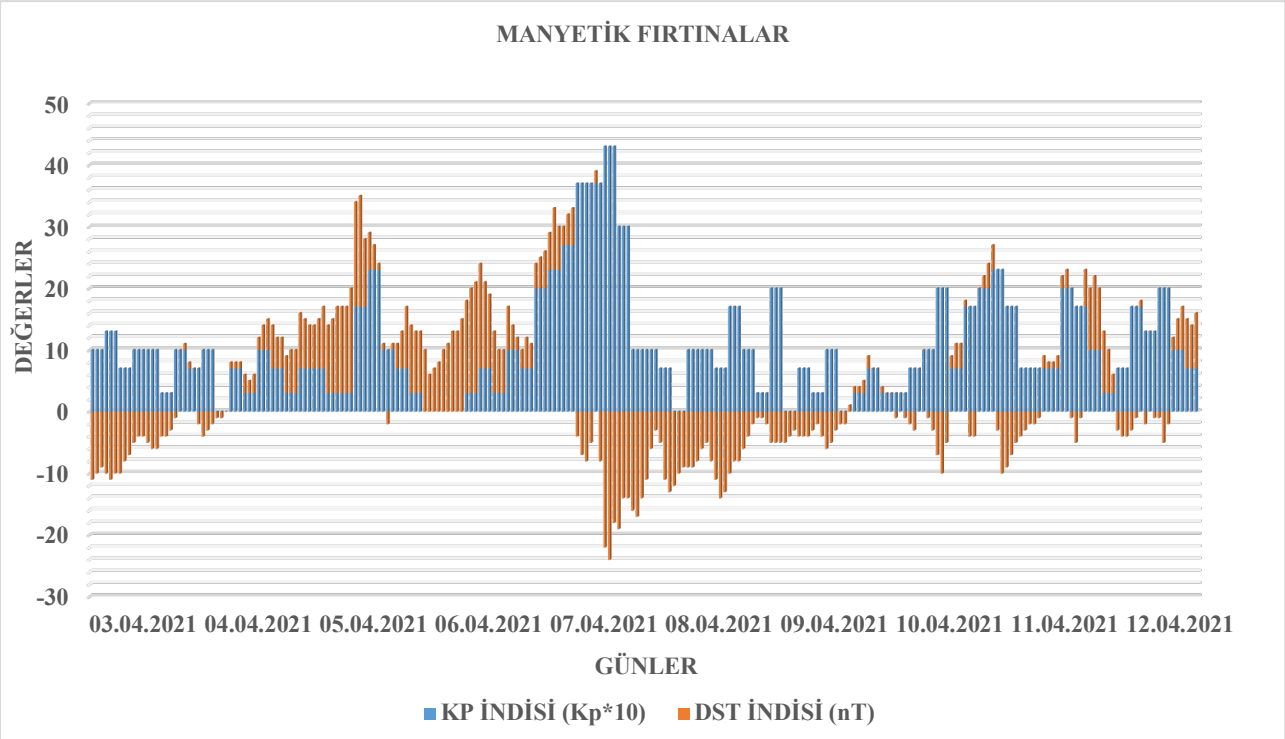
PARAMETRELER	**PPPH**
Yükseklik Açısı	10°
Uydu Sistemi	GPS
İşlem Modu	Statik
Epok (Kayıt) Aralığı	30 saniye
Yöntem	PP-PPP
Yörünge, Saat ve Anten dosyası	Manuel
DCB Dosyası	P1-C1
Troposfer Model	Saastamoinen
Uydu Anteni Faz Merkezi Düzeltmesi	Var
Uydu Faz Dönüklüğü Düzeltmesi	Var
Alıcı Anten Faz Merkezi Düzeltmesi	Var
Alıcı Anten Referans Noktası Düzeltmesi	Var
Troposferik Gecikme Düzeltmesi	Var
Rölativistik Mesafe Düzeltmesi	Var
Katı-yer Gelgiti Düzeltmesi	Var

Değerlendirme kısmında sadece-GPS gözlemleri kullanılmıştır. Ardından istasyonların ilgili günlerdeki gözlem dosyaları CSRS-PPP servisine gönderilerek referans koordinat sistemi oluşturulmuştur. CSRS-PPP servisinden sağlanan referans koordinat sisteminden kuzey (n), doğu (e) ve yukarı (u) bileşenleri olarak ifade edilen toposentrik koordinat sistemine dönüşümler gerçekleştirilmiştir. Bu dönüşümün kullanılmasının sebebi referans değerlerden olan farklar hata miktarını temsil ederek doğruluk değerlerini vermesidir. Tablo 3'te, 5 TUSAGA-Aktif istasyonlarının 10 günlük veri setine ait PPPH yazılımı kullanılarak yatay ve düşey bileşenlerden oluşan toposentrik koordinatlara ilişkin temel istatistiki değerler (maksimum, minimum, ortalama ve karesel ortalama hata (KOH) gösterilmiştir.

Tablo 3. *Çalışmada kullanılan istasyonların toposentrik koordinatlara ilişkin temel istatistiki değerler*

PPP Hata Kaynakları	Temel İstatistikler	BALK			SINP			YOZ1			IGR1			ONIY		
		n (cm)	e (cm)	u (cm)	n (cm)	e (cm)	u (cm)	n (cm)	e (cm)	u (cm)	n (cm)	e (cm)	u (cm)	n (cm)	e (cm)	u (cm)
Uydu Anteni Faz Merkezi Düzeltmesi	Maksimum	0.00	-3.40	7.50	-0.20	-3.80	6.80	-0.30	-4.00	6.10	0.10	-2.50	4.70	-0.20	-3.20	6.80
	Minimum	-1.3	-4.50	5.50	-1.20	-5.00	5.60	-0.90	-4.50	5.30	-1.10	-4.10	3.20	-1.00	-5.30	4.30
	Ortalama	-0.54	-3.96	6.06	-0.62	-4.17	6.11	-0.55	-4.24	5.72	-0.54	-3.30	3.84	-0.56	-3.99	6.07
	KOH	0.65	3.97	6.08	0.70	4.18	6.12	0.58	4.24	5.72	0.67	3.34	3.86	0.61	4.03	6.10
Uydu Faz Dönüklüğü Düzeltmesi	Maksimum	1.00	1.60	-0.80	1.30	1.90	-0.70	0.90	1.40	-0.90	1.20	2.60	-1.20	0.80	1.60	-0.70
	Minimum	0.3	0.70	-2.10	0.20	1.10	-1.60	0.40	0.70	-1.70	0.30	1.50	-2.20	0.20	0.60	-1.90
	Ortalama	0.63	1.05	-1.49	0.90	1.39	-1.12	0.63	1.02	-1.33	0.65	1.94	-1.69	0.42	1.15	-1.17
	KOH	0.66	1.08	1.52	0.94	1.40	1.16	0.65	1.03	1.35	0.68	1.96	1.73	0.46	1.18	1.22
Alıcı Anten Faz Merkezi Düzeltmesi	Maksimum	1.00	1.30	8.10	1.00	1.60	8.40	0.80	1.50	8.50	0.80	1.70	7.30	0.70	1.40	8.80
	Minimum	0.3	-0.10	6.00	0.10	-0.30	6.60	0.20	0.60	6.80	-0.20	-0.40	4.50	-0.10	-0.30	7.30
	Ortalama	0.59	0.40	6.83	0.65	0.88	7.44	0.43	1.04	7.51	0.34	0.43	5.58	0.34	0.81	8.00
	KOH	0.62	0.57	6.86	0.69	1.06	7.46	0.47	1.09	7.53	0.44	0.74	5.64	0.43	0.95	8.01
Alıcı Anten Referans Noktası Düzeltmesi	Maksimum	0.7	1.50	8.70	0.70	1.80	9.10	0.50	1.70	9.20	0.50	1.90	8.30	0.40	1.60	9.40
	Minimum	0.00	0.00	6.60	-0.20	-0.10	7.20	-0.10	0.80	7.40	-0.40	-0.30	5.60	-0.30	-0.20	7.90
	Ortalama	0.29	0.56	7.46	0.37	1.03	8.09	0.15	1.19	8.15	0.08	0.61	6.59	0.05	0.95	8.64
	KOH	0.36	0.70	7.49	0.44	1.18	8.11	0.24	1.23	8.17	0.27	0.87	6.64	0.26	1.08	8.65
Troposferik Gecikme Düzeltmesi	Maksimum	0.7	1.90	12.00	0.80	2.20	12.20	0.50	1.80	10.00	0.30	2.00	8.30	0.40	2.00	12.70
	Minimum	0.10	0.40	9.30	-0.30	1.10	10.10	-0.10	0.80	9.00	-0.40	0.40	6.10	-0.20	0.20	10.60
	Ortalama	0.35	0.87	10.67	0.41	1.49	11.10	0.20	1.32	9.57	-0.02	1.08	6.98	0.07	1.10	11.89
	KOH	0.39	0.96	10.71	0.51	1.52	11.11	0.25	1.36	9.57	0.22	1.17	7.00	0.22	1.19	11.90
Rölativistik Mesafe Düzeltmesi	Maksimum	0.7	1.50	0.50	0.70	1.80	0.80	0.50	1.70	0.90	0.50	1.80	0.10	0.40	1.60	1.20
	Minimum	0.00	0.00	-1.70	-0.20	-0.10	-1.00	-0.10	0.80	-0.90	-0.40	-0.30	-2.70	-0.30	-0.20	-0.40
	Ortalama	0.29	0.57	-0.78	0.37	1.02	-0.17	0.16	1.19	-0.11	0.07	0.59	-1.66	0.05	0.96	0.37
	KOH	0.36	0.71	1.02	0.44	1.18	0.65	0.24	1.23	0.61	0.27	0.85	1.85	0.26	1.09	0.65
Katı-yer Gelgiti Düzeltmesi	Maksimum	-0.50	5.20	-1.40	-0.20	3.80	7.10	-0.20	4.00	-2.40	-1.50	3.20	-4.30	-1.20	3.60	-0.10
	Minimum	-3.5	0.10	-8.90	-3.60	0.30	-7.90	-3.00	-0.30	-7.40	-3.60	-0.80	-7.80	-4.00	0.10	-6.40
	Ortalama	-2.18	2.56	-4.56	-1.73	1.69	-4.76	-1.70	1.82	-5.71	-2.56	0.97	-6.08	-2.72	1.94	-3.26
	KOH	2.32	2.93	5.09	2.02	1.97	6.36	1.93	2.38	5.91	2.66	1.57	6.16	2.86	2.22	3.76

Tablo 3' deki maksimum değerler incelendiğinde en yüksek değerin ONIY istasyonunun "u" bileşenindeki troposferik gecikme düzeltmesi olduğu ve bu düzeltmenin 12.70 cm büyüklüğünde olduğu minimum değerler incelendiğinde en düşük değerin BALK istasyonunun "u" bileşeninde katı-yer gelgiti düzeltmesi olduğu ve bu düzeltmenin -8.90 cm bir büyüklükte olduğu açıkça görülmektedir. Ortalama değerler incelendiğinde n ve e bileşeninde en iyi değerler sırasıyla SINP ve ONIY istasyonlarının 1.69 cm ve 0.42 cm ile uydu faz dönüklüğü düzeltmesi olduğu, u bileşeninde ise ONIY istasyonunun -3.26 cm ile katı-yer gelgiti düzeltmesinin olduğu açıkça görülmektedir. Karesel ortalama hata değerleri incelendiğinde genel olarak ±10 cm'nin altında olduğu görülmektedir. Her üç bileşen için en iyi değerin ortalama ±1.53 cm ile rölativistik mesafe düzeltmesi olduğu ve bu düzeltmenin n ve u bileşenlerinde en iyi değerin sırasıyla ±0.24 cm ve ±0.61 cm ile YOZ1 istasyonu, e bileşeninde ±0.71 cm ile BALK istasyonunda olduğu açıkça görülmektedir. Genel anlamda PPP hata kaynaklarının maksimum ve minimum değerleri incelendiğinde rölativistik mesafe düzeltmesi hata kaynağının yatayda 0.26 cm ile 1.23 cm, düşey bileşenlerde 0.61 cm ile 1.85 arasında değiştiği görülürken, troposferik gecikme düzeltmesi hata kaynağının yatayda 0.22 cm ile 1.36 cm, düşeyde 7.00 cm ile 11.90 cm arasında değiştiği görülmektedir. Şekil 4'te, 10 günlük veri setinin 24 saatlik gözlemlerinde elde edilen manyetik fırtınaları tanımlayan Kp indisi ve Dst indisi değerleri verilmiştir.



Şekil 4. *10 günlük veri setinin 24 saatlik Kp indisi ve Dst indisi değerleri*

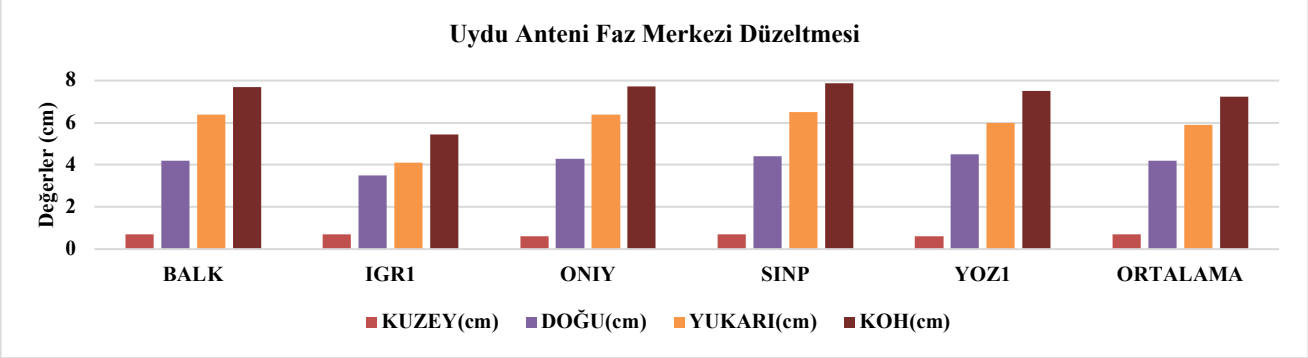
Manyetik fırtına indisi olan Kp indisi "0" ile "9" arasında gösterilen ve 3 saatlik aralıklarla üretilen bir indistir. "4" ve altındaki Kp indisi değerleri, fırtına seviyesinin altındaki manyetik fırtına etkisine karşılık gelirken; diğerleri "5" zayıf fırtına ve "9" aşırı fırtına arasında sınıflandırılmaktadır [35]. 10 günlük veri setindeki değerlerin iyi yapılabilmesi için Kp indisinde her bir değer on ile çarpılarak yani Kp*10 cinsinden hesaplanarak verilmiştir. Dst indisi, manyetik fırtınanın şiddetini belirleyen, 1 saatlik zaman aralıklarında ve 4 farklı gözlemevinden elde edilen indistir. Dst indisinin değerinin azalması manyetik fırtınanın şiddetinin artması anlamına gelmekte ve sınıflandırılması yoğunluğuna göre yapılmaktadır. Birimi nanoTesla (nT)'dır [35]. Kp indisi ve Dst indisinin değeri ile manyetik fırtına etkileri Tablo 4'te verilmiştir. Bu indislerin değerleri NASA'nın Uzay Fiziği Veri Tesisi (Space Physics Data Facility, SPDF) OMNIWeb veri merkezinden [36] sağlanmıştır. Şekil 4'te görüldüğü üzere, Kp indisi değerlerinin 0 ile 43 arasında değiştiği görülürken; Dst indisi değerlerinde ise sırasıyla -24 nT ve 18 nT arasındadır. Diğer taraftan 10 günlük veri setinin ilgili saat dilimlerinde maksimum Kp indisi değeri ve minimum Dst indisi değerleri incelendiğinde; Kp indisinin 43 olan

maksimum değeri, 07.04.2021 gözlem gününe ait 16., 17. ve 18. saatlerinde gerçekleştiği için manyetik fırtına etkisinin "fırtına seviyesinin altında" olarak gözlemlendiği, Dst indisinin -30 nT değerinden büyük olanlar sakin fırtına olarak tanımlandığından dolayı minimum nT değeri olan -24 nT değeriyle 07.04.2021 gözlem gününün 17. saatinde sakin fırtına etkisinin oluştuğu görülmüştür. Genel anlamda Şekil 4 incelendiğinde, Kp indisine göre 50 ve üzeri, Dst indisine göre -30 nT ve altı manyetik fırtına gerçekleşmemiştir.

Tablo 4. *Kp indisi ve Dst indisi sınır değerleri ile manyetik fırtına etkileri* [35]

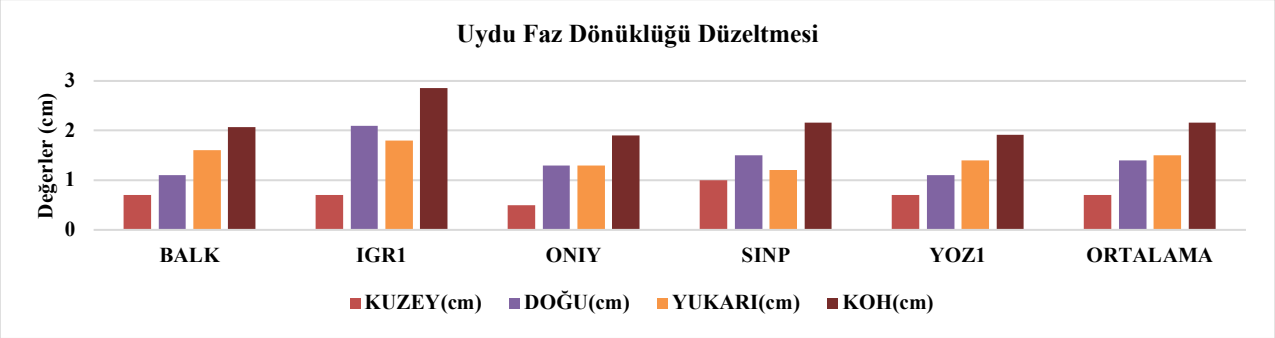
MANYETİK FIRTINA ETKİSİ	**Kp İNDİSİ**
Fırtına Seviyesinin Altında	4 ve altı
Zayıf Fırtına	5
Orta Şiddetli Fırtına	6
Güçlü/Yoğun Fırtına	7
Şiddetli/Çok Yoğun Fırtına	8
Aşırı Fırtına	9
MANYETİK FIRTINA ETKİSİ	**Dst İNDİSİ (nT)**
Sakin Fırtına	$Dst_{min} \geq -30$
Zayıf Fırtına	$-30 \geq Dst_{min} \geq -50$
Orta Şiddetli Fırtına	$-50 \geq Dst_{min} \geq -100$
Güçlü/Yoğun Fırtına	$-100 \geq Dst_{min} \geq -200$
Şiddetli/Çok Yoğun Fırtına	$-200 \geq Dst_{min} \geq -350$
Aşırı Fırtına	$-350 \geq Dstmin$

Şekil 5-11'de, PPP hata kaynaklarının 5 TUSAGA-Aktif istasyonlarında 10 günlük veri setine ait yatay ve düşey bileşenlerden oluşan ve referans değerlerden olan farkları temsil eden toposentrik koordinat bileşenleri verilmektedir. Bu bileşenler referans değerlerden olan farkları temsil ettiğinden sonuçlara ait doğruluk değerlerini de yansıtmaktadır. Şekiller genel olarak incelendiğinde karesel ortalama hatanın (KOH) en yüksek değerde, kuzey bileşenin ise en düşük değerlere sahip olduğu görülmektedir. Seçilen istasyonlar arasından karesel ortalama hatada en iyi değerin ise IGR1 istasyonunda olduğu belirlenmiştir.



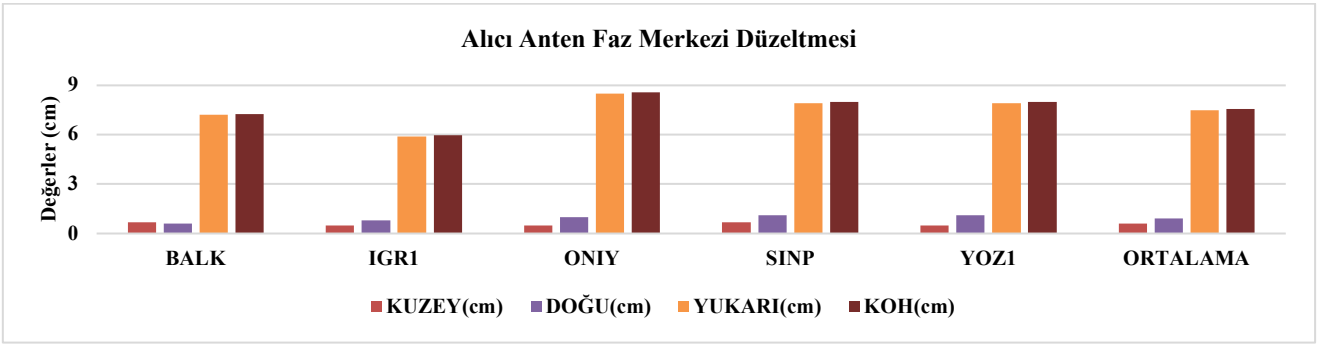
Şekil 5. *Uydu anteni faz merkezi düzeltmesi hata kaynağının toposentrik koordinatları ve KOH değerleri*

Şekil 5'te uydu anteni faz merkezi düzeltmesi hata kaynağının seçilen TUSAGA-Aktif istasyonlarındaki toposentrik koordinatları ve karesel ortalama hata değerleri verilmiştir. Kuzey, doğu ve yukarı bileşenlerinin ortalama olarak sırasıyla 0.7 cm, 4.2 cm ve 5.9 cm bir büyüklüğe sahip olduğu görülmektedir. Kuzey bileşen için ONIY ve YOZ1 istasyonlarında 0.6 cm en düşük değere diğer istasyonların 0.7 cm ile en yüksek değere sahip olduğu, doğu bileşen için en düşük değerin 3.5 cm ile IGR1 istasyonunda, en yüksek değerin 4.5 cm ile YOZ1 istasyonu ve yukarı bileşen için en düşük değerin 6.0 cm ile YOZ1 istasyonu, en yüksek değerin 6.5 cm ile SINP istasyonunda olduğu açıkça görülmektedir. Seçilen istasyonların ortalama değerlerine bakılırsa en yüksek değerin ±7.2 cm ile karesel ortalama hata değerinde, en düşük değerin ise 0.7 cm ile kuzey bileşeninde olduğu görülmektedir. Karesel ortalama hatada en iyi değerin ±5.43 cm ile IGR1 istasyonu en yüksek değerin ise ±7.88 cm ile SINP istasyonuna ait olduğu gözlemlenmiştir.



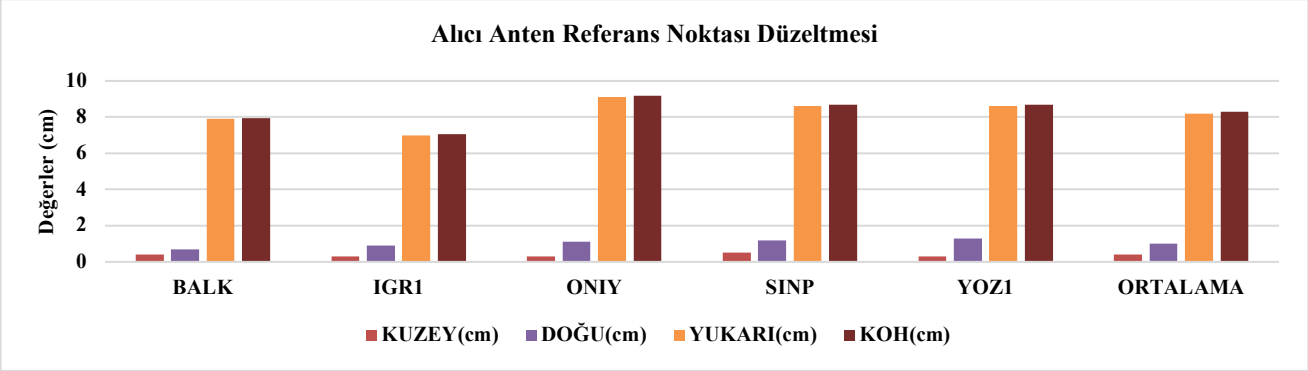
Şekil 6. *Uydu faz dönüklüğü düzeltmesi hata kaynağının toposentrik koordinatları ve KOH değerleri*

Şekil 6'da uydu faz dönüklüğü düzeltmesi hata kaynağının seçilen TUSAGA-Aktif istasyonlarındaki toposentrik koordinatları ve karesel ortalama hata değerleri verilmiştir. Kuzey, doğu ve yukarı bileşenlerinin ortalama olarak sırasıyla 0.7 cm, 1.4 cm ve 1.5 cm bir büyüklüğe sahip olduğu görülmektedir. Kuzey bileşen için 0.5 cm ile ONIY istasyonunda en düşük değere, 1.0 cm ile SINP istasyonunda en düşük değere ve diğer istasyonların ise 0.7 cm bir büyüklüğe sahip olduğu, doğu bileşen için en düşük değerin 1.1 cm ile BALK ve YOZ1 istasyonları, en yüksek değerin 2.1 cm ile IGR1 istasyonu, yukarı bileşen için en düşük değerin 1.2 cm ile SINP istasyonu en yüksek değerin 1.8 cm ile IGR1 istasyonunda olduğu açıkça görülmektedir. Seçilen istasyonların ortalama değerlerine bakıldığında karesel ortalama hata değerinin en yüksek değere (±2.16 cm), kuzey bileşenin en düşük değere (0.7 cm) sahip olduğu, doğu bileşeni (1.4 cm) ile yukarı bileşeninin (1.5 cm) çok yakın sonuçlar verdiği de görülmektedir. Karesel ortalama hatada en iyi değerin ±1.90 cm ile ONIY istasyonunda, en yüksek değerin ise ±2.85 cm ile IGR1 istasyonuna ait olduğu gözlemlenmiştir.



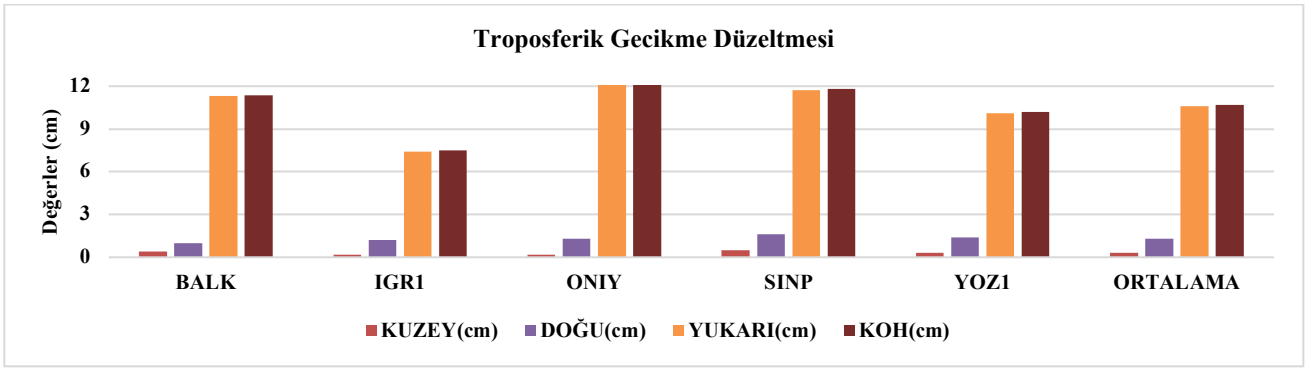
Şekil 7. *Alıcı anten faz merkezi düzeltmesi hata kaynağının toposentrik koordinatları ve KOH değerleri*

Şekil 7'de alıcı anten faz merkezi düzeltmesi hata kaynağının seçilen TUSAGA-Aktif istasyonlarındaki toposentrik koordinatları ve karesel ortalama hata değerleri verilmiştir. Kuzey, doğu ve yukarı bileşenlerinin ortalama olarak sırasıyla 0.6 cm, 0.9 cm ve 7.5 cm bir büyüklüğe sahip olduğu görülmektedir. Kuzey bileşen için 0.5 cm ile IGR1, ONIY ve YOZ1 istasyonlarında en düşük değere, 0.7 cm ile BALK ve SINP istasyonlarında en yüksek değere sahip olduğu, doğu bileşen için en düşük değerin 0.6 cm ile BALK istasyonu, en yüksek değerin 1.1 cm ile SINP ve YOZ1 istasyonları, yukarı bileşen için en düşük değerin 5.9 cm ile IGR1 istasyonu en yüksek değerin 8.5 cm ile ONIY istasyonunda olduğu açıkça görülmektedir. İstasyonların ortalama değerlerine bakıldığında ±7.55 cm ile karesel ortalama hata değerinin en yüksek değere, 0.6 cm ile kuzey bileşenin en düşük değerde olduğu görülmüştür. Aynı zamanda karesel ortalama hata değeri (±7.55 cm) ile yukarı bileşeninin (7.5 cm) çok yakın sonuçlar verdiği de görülmektedir. Karesel ortalama hatada en iyi değerin ±5.97 cm ile IGR1 istasyonu, en yüksek değerin ±8.57 cm ile ONIY istasyonuna ait olduğu gözlemlenmiştir.



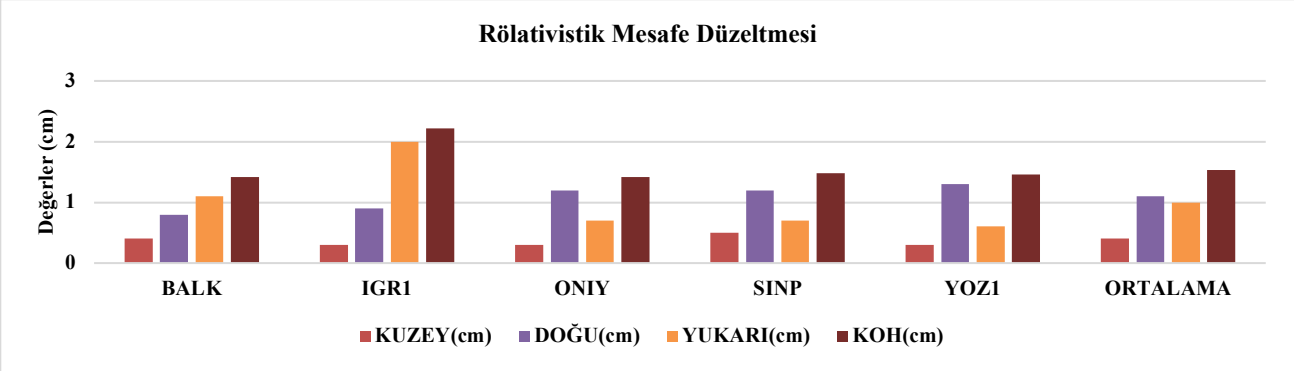
Şekil 8. *Alıcı anten referans noktası düzeltmesi hata kaynağının toposentrik koordinatları ve KOH değerleri*

Şekil 8'de alıcı anten referans noktası düzeltmesi hata kaynağının seçilen TUSAGA-Aktif istasyonlarındaki toposentrik koordinatları ve karesel ortalama hata değerleri verilmiştir. Kuzey, doğu ve yukarı bileşenlerinin ortalama olarak sırasıyla 0.4 cm, 1.0 cm ve 8.2 cm bir büyüklüğe sahip olduğu görülmektedir. Kuzey bileşen için 0.3 cm ile IGR1, ONIY ve YOZ1 istasyonlarında en düşük değere, 0.5 cm ile SINP istasyonunda en yüksek değere sahip olduğu, doğu bileşen için en düşük değerin 0.7 cm ile BALK istasyonu en yüksek değerin 1.3 cm ile YOZ1 istasyonu, yukarı bileşen için en düşük değerin 7.0 cm ile IGR1 istasyonu en yüksek değerin 9.1 cm ile ONIY istasyonunda olduğu açıkça görülmektedir. Tüm istasyonların ortalama değerlerine bakıldığında 8.3 cm ile karesel ortalama hata değerinin en yüksek değerde, 0.4 cm ile kuzey bileşenin en düşük değerde olduğu görülmektedir. Diğer taraftan karesel ortalama hata değeri (±8.3 cm) ile yukarı bileşeninin (±8.2 cm) çok yakın sonuçlar verdiği de görülmektedir. Karesel ortalama hatada en iyi değerin ±7.06 cm ile IGR1 istasyonu, en yüksek değerin ise ±9.17 cm ile ONIY istasyonuna ait olduğu gözlemlenmiştir.



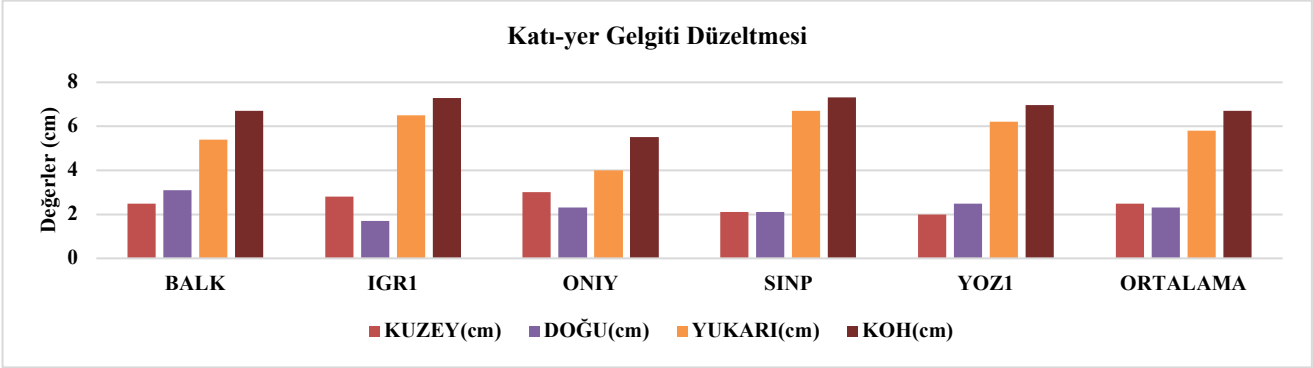
Şekil 9. *Troposferik gecikme düzeltmesi hata kaynağının toposentrik koordinatları ve KOH değerleri*

Şekil 9'da troposferik gecikme düzeltmesi hata kaynağının seçilen TUSAGA-Aktif istasyonlarındaki toposentrik koordinatları ve karesel ortalama hata değerleri verilmiştir. Kuzey, doğu ve yukarı bileşenlerinin ortalama olarak sırasıyla 0.3 cm, 1.3 cm ve 10.6 cm bir büyüklüğe sahip olduğu görülmektedir. Kuzey bileşen için 0.2 cm ile IGR1 ve ONIY istasyonlarında en düşük değere, 0.5 cm ile SINP istasyonunda en yüksek değere sahip olduğu, doğu bileşen için en düşük değerin 1.0 cm ile BALK istasyonu en yüksek değerin 1.6 cm ile SINP istasyonu, yukarı bileşen için en düşük değerin 7.4 cm ile IGR1 istasyonu en yüksek değerin 12.6 cm ile ONIY istasyonunda olduğu açıkça görülmektedir. İstasyonların ortalama değerlerine bakıldığında karesel ortalama hata değerinin ±10.7 cm ile en yüksek değerde, kuzey bileşenin 0.3 cm ile en düşük değerde olduğu görülmektedir. Aynı zamanda karesel ortalama hata değeri (±10.7 cm) ile yukarı bileşeninin (±10.6 cm) çok yakın sonuçlar verdiği de görülmektedir. Karesel ortalama hatada en iyi değerin ±7.49 cm ile IGR1 istasyonu en yüksek değerin ise ±12.66 cm ile ONIY istasyonuna ait olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 10. *Rölativistik mesafe düzeltmesi hata kaynağının toposentrik koordinatları ve KOH değerleri*

Şekil 10'da rölativistik mesafe düzeltmesi hata kaynağının seçilen TUSAGA-Aktif istasyonlarındaki toposentrik koordinatları ve karesel ortalama hata değerleri verilmiştir. Kuzey, doğu ve yukarı bileşenlerinin ortalama olarak sırasıyla 0.4 cm, 1.1 cm ve 1.0 cm bir büyüklüğe sahip olduğu görülmektedir. Kuzey bileşen için 0.3 cm ile IGR1, ONIY ve YOZ1 istasyonlarında en düşük değere 0.5 cm ile SINP istasyonunda en yüksek değere sahip olduğu, doğu bileşen için en düşük değerin 0.8 cm ile BALK istasyonu en yüksek değerin 1.3 cm ile YOZ1 istasyonu, yukarı bileşen için en düşük değerin 0.6 cm ile YOZ1 istasyonu en yüksek değerin 2.0 cm ile IGR1 istasyonunda olduğu açıkça görülmektedir. Tüm istasyonların ortalama değerlerine bakıldığında karesel ortalama hata değerinin ±1.53 cm ile en yüksek değerde, kuzey bileşenin 0.4 cm ile en düşük değerde olduğu görülmektedir. Diğer taraftan doğu bileşeni (1.1 cm) ile yukarı bileşeninin (1.0 cm) çok yakın sonuçlar verdiği de görülmektedir. Karesel ortalama hatada en iyi değerin ±1.41 cm ile BALK istasyonu en yüksek değerin ise ±2.21 cm ile IGR1 istasyonuna ait olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 11. *Katı-yer gelgiti düzeltmesi hata kaynağının toposentrik koordinatları ve KOH değerleri*

Şekil 11'de katı-yer gelgiti düzeltmesi hata kaynağının seçilen TUSAGA-Aktif istasyonlarındaki toposentrik koordinatları ve karesel ortalama hata değerleri verilmiştir. Kuzey, doğu ve yukarı bileşenlerinin ortalama olarak sırasıyla 2.5 cm, 2.3 cm ve 5.8 cm bir büyüklüğe sahip olduğu görülmektedir. Kuzey bileşen için 2.0 cm ile YOZ1 istasyonunda en düşük değere 3.0 cm ile ONIY istasyonunda en yüksek değere sahip olduğu, doğu bileşen için en düşük değerin 1.7 cm ile IGR1 istasyonu en yüksek değerin 3.1 cm ile BALK istasyonu, yukarı bileşen için en düşük değerin 4.0 cm ile ONIY istasyonu en yüksek değerin 6.7 cm ile SINP istasyonunda olduğu açıkça görülmektedir. Tüm istasyonların ortalama değerlerine bakıldığında ±6.7 cm ile karesel ortalama hata değerinin en yüksek değerde, 2.3 cm ile doğu bileşenin en düşük değerde olduğu görülmektedir. Aynı zamanda kuzey bileşeni (2.5 cm) ile doğu bileşeninin (2.3 cm) yakın sonuçlar verdiği de görülmektedir. Karesel ortalama hatada en iyi değerin ±5.50 cm ile ONIY istasyonu en yüksek değerin ise ±7.27 cm ile IGR1 istasyonuna ait olduğu gözlemlenmiştir.

TARTIŞMA VE SONUÇLAR (DISCUSSION AND CONCLUSIONS)

Bu çalışmada sadece-GPS uydu sistemi ve PP-PPP yöntemi ile konum bilgisi elde etmeye imkan

sağlayan PPP hata kaynaklarının nokta konum doğruluklarına olan en fazla ve en az etkileri test edilmiştir. Bu amaçla TUSAGA-Aktif ağlarına ait BALK, YOZ1, ONIY, IGR1 ve SINP istasyonlarının 24 saatlik 30 saniyelik gözlem verileri değerlendirilmiş ve PPPH yazılımından elde edilen koordinatlar referans kabul edilerek karşılaştırılmıştır. Çalışmadaki bulgularda hesaplanan karesel ortalama hata değerleri yardımıyla 5 TUSAGA-Aktif istasyonlarından rölativistik mesafe düzeltmesinin yatay ve düşey bileşenlerde ortalama olarak sırasıyla 0.66 cm ve 0.96 cm konum doğruluğu sağladığını göstermiştir. Bu değerler troposferik gecikme düzeltmesi hata kaynağı için sırasıyla 0.78 cm ve 10.06 cm olduğu açıkça görülmektedir. İstasyon bazlı incelemelerde KOH değerlerine bakıldığında kuzey bileşenin BALK istasyonu (±2.32 cm), e bileşeninin YOZ1 istasyonu (±4.24 cm), u bileşeninin ONIY istasyonunda (±11.90 cm) daha yüksek sonuçlar ortaya koyduğu açıkça görülmektedir. Çalışma kapsamında yapılan KOH değerleri, noktaların konumsal doğruluklarını yansıttığından dolayı PPP hata kaynaklarının istasyonlardaki doğu-batı, kuzey-güney yönlü olarak konumsal doğrulukları yorumlanacak olursa, doğu bölgesinde kalan istasyonların (IGR1, YOZ1) batı bölgesindeki istasyonlara göre (BALK); troposferik gecikme düzeltmesi ve uydu anteni faz merkezi düzeltmesi hata kaynaklarının konum doğruluklarında artma, katı-yer gelgiti düzeltmesi rölativistik mesafe düzeltmesi hata kaynaklarının ise konum doğruluklarında azalma olduğu belirlenmiştir. Güney bölgede kalan istasyonların (ONIY, YOZ1) kuzey bölgedeki istasyonlara göre (SINP); katı-yer gelgiti, uydu faz dönüklüğü düzeltmesi, rölativistik mesafe düzeltmesi hata kaynaklarının konum doğruluklarında artma, alıcı anten referans noktası düzeltmesi hata kaynağının konum doğruluğunda azalma olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlardan hareketle troposferik gecikme düzeltmesi hata kaynağının konum doğruluğunda etkisi en fazla olurken, rölativistik mesafe düzeltmesinin etkisinin en az olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada ulaşılan sonuçlar doğrultusunda troposferik gecikme düzeltmesi hata kaynağının diğer PPP hata kaynakları ile kıyaslandığında yüksek nokta konum doğruluğu elde etmede etkisinin önemli olduğu görülmüştür. Bu bağlamda troposferik gecikme düzeltmesi hata kaynağının hem PP-PPP yöntemi kullanılarak yüksek konum doğruluğu ve duyarlılığın sağlanmasında önemli çözümler sunması hem de bu hata kaynağının PPP'de oluşan hataları en aza indirgemesi bakımından önem taşımaktadır.

Teşekkür (Acknowledgements)

Gerçekleştirilen çalışmada referans koordinat sistemlerini kullanmada web tabanlı online CSRS-PPP servisi için Natural Resources Canada (NRCan)'a, TUSAGA-Aktif (CORS-TR) istasyonları için Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğüne, manyetik fırtınalar için NASA'nın Uzay Fiziği Veri Tesisi (SPDF) OMNIWeb veri merkezine teşekkür ederiz.

Bu çalışma Prof. Dr. İbrahim Kalaycı'nın danışmanlığında Nezih Furkan Erbaş'ın Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalında 2021 yılında tamamladığı ''Hassas Nokta Konumlama (PPP) Hata Kaynaklarının Konum Doğruluğuna Etkileri'' başlıklı Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

KAYNAKÇA (REFERENCES)

[1] S. Bisnath, Y. Gao, Current State of Precise Point Positioning and Future Prospects and Limitations, *Observing Our hanging earth*. 615-623133 (2008), 615-623. doi:10.1007/978-3-540-85426-5_71

[2] Y. Yao, R. Zhang, W. Song, C. Shi, Y. Lou, An improved approach to model regional ionosphere and accelerate convergence for precise point positioning, *Advances in Space Research*. 52 (2013), 1406-1415. doi:10.1016/j.asr.2013.07.020

[3] C. Ö. Yiğit, B. N. Özdemir, S. Alçay, A. Ceylan, CSRS-PPP Yazılımının Uzun Dönemli GNSS Zaman Serilerinin Oluşturulmasında ve Nokta Hızlarının Kestirilmesinde Kullanılabilirliği, *Harita Dergisi*. 82 (2016), 23-31.

[4] C. Cai, Y. Gao, L. Pan, J. Zhu, Precise point positioning with quad-constellations: GPS, BeiDou, GLONASS and Galileo, *Advance in Space Research*. 56 (2015), 133-143. doi:10.1016/j.asr.2015.04.001

[5] K. Su, S. Jin, Improvement of Multi-GNSS Precise Point Positioning Performances with Real Meteorological Data, *Journal of Navigation*. 71 (2018), 1-17. doi:10.1017/S0373463318000462

[6] C. Shi, Y. Lou, M. Ge, G. Shengfeng, An improved approach to model ionospheric delays for single-frequency Precise Point Positioning, *Advances in Space Research*. 49 (2012), 1698-1708. doi:10.1016/j.asr.2012.03.016

[7] M. Kahveci, GPS/GNSS Gözlemlerini Değerlendirme Yöntemlerinde Son Gelişmeler. *Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*. 102 (2010), 3-9.

[8] P. Li, X. Zhang, Integrating GPS and GLONASS to accelerate convergence and initialization times of precise point positioning, *Article in GPS Solutions*. 18 (2014), 461-471. doi:10.1007/s10291-013-0345-5

[9] M. Malinowski, J. Kwiecień, A Comparative Study of Precise Point Positioning (PPP) Accuracy Using Online Services, *Reports on Geodesy and Geoinformatics*. 102 (2016), 15-31. doi:10.1515/rgg-2016-0025

[10] S. Bolbol, A. H. Ali, M. S. Elsayed, M. Nasr, Performance Evaluation of Precise Point Positioning (PPP) Using CSRS-PPP Online Service, *American Journal of Geographic Information System.* 6 (2017), 156-167. doi:10.5923/j.ajgis.20170604.03

[11] B. Bahadur, M. Nohutcu, Türkiye ve yakın çevresi için çoklu-GNSS kombinasyonlarının PPP performansına etkisi, *Harita Dergisi*. (2018), 1-11.

[12] B. Bahadur, M, Nohutcu, Hassas Nokta Konumlama İçin Robust Kalman Filtresi Yöntemlerinin Analizi. *Harita Dergisi*. 86 (2020), 29-42.

[13] W. U. Guanbin, C. Junping, w. U. Xiaomeng, H. U. Jinlin, Modeling and assessment of regional atmospheric corrections based on undifferenced and uncombined PPP-RTK, *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*. 49 (2020), 1407-1418. doi: 10.11947/j.AGCS.2020.20200103

[14] M. Li, G. Huang, L. Wang, W. Xie, F. Yue, Performance of Multi-GNSS in the Asia-Pacific Region: Signal Quality, Broadcast Ephemeris and Precise Point Positioning (PPP), *Remote Sensing*. 14 (2022), 3028. doi:10.3390/rs14133028

[15] Z. Wu, Q. Wang, C. Hu, Z. Yu, W. Wu, Modeling and assessment of fve-frequency BDS precise point positioning, *Satellite Navigation*. 3 (2022), 1-14. doi:10.1186/s43020-022-00069-z

[16] Y. Gao, Precise point positioning and its challenges, aided-gnss and signal tracking. *Inside GNSS*. 16–18 (2006), 16-21.

[17] J. Kouba, P. Heroux, Precise point positioning using IGS orbit and clock products. *GPS Solutions*. 5 (2001), 12-28. doi:10.1007/PL00012883

[18] S. Bülbül, B. Bilgen, C. İnal, The performance assessment of Precise Point Positioning (PPP) under various observation conditions. *Measurement*. 171 (2021). doi: 10.1016/j.measurement.2020.108780

[19] R. J. Anderle, Satellite Doppler Positioning. Proceedings of the International Geodetic

Symposium, Las Cruces, New Mexico, (1976), 47-75.

[20] J. F. Zumberge, M. B. Heflin, D. C. Jefferson, M. M. Watkins, F. H. Webb, Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks, *Journal of Geophysical Research*. 102 (1997), 5005-5017. doi:10.1029/96JB03860

[21] C. Rizos, V. Janssen, C. Roberts, T. Grinter, Precise Point Positioning: Is the Era of Differential GNSS Positioning Drawing to an End?, *Proceedings of FIG Working Week*, 2012, 1-17.

[22] Y. Facio ve M. Berber, Subsidence is Determined in the Heart of the Central Valley Using Post Processed Static and Precise Point Positioning Techniques, *Journal of Applied Geodesy*. 14 (2020), 113-118. doi: 10.1515/jag-2019-0043

[23] D. Kiliszek ve K. Kroszczyński, Performance of the Precise Point Positioning Method Along with the Development of GPS, GLONASS and Galileo Systems, *Measurement*.164 (2020), 1-26. doi: https: 10.1016/j.measurement.2020.108009

[24] R. Liu, B. Guo, A. Zhang & B. Yimwadsana, Research on GPS Precise Point Positioning Algorithm with a Sea Surface Height Constraint, *Ocean Engineering*. 197 (2020). doi: 10.1016/j.oceaneng.2019.106826

[25] A. C. Uçarlı, F. Demir, S. Erol & R. M. Alkan, Farklı GNSS Uydu Sistemlerinin Hassas Nokta Konumlama (PPP) Tekniğinin Performansına Etkisinin İncelenmesi, *Geomatik Dergisi*. 6 (2021), 247-258. doi: 10.29128/geomatik.779420

[26] E. Ayso ve M. Kahveci, GNSS Kod (Pseudorange) Ölçüleri ile Tek Nokta Konum Belirleme Yazılımı: KTUN_SPP, *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 10 (2022), 578-598. doi: 10.36306/konjes.1112955

[27] M. Ge, G. Gendt, M. Rothacher, C. Shi, J. Liu, Resolution of GPS carrier-phase ambiguities in Precise Point Positioning (PPP) with daily observations, *Journal of Geodesy*. 82 (2008), 389-399. doi: 10.1007/s00190-007-0187-4

[28] S. Alçay, C. Ö. Yiğit ve A. Ceylan, CSRS-PPP, MagicGNSS ve APPS web tabanlı yazılımların statik PPP modüllerinin karşılaştırılması. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*. 5 (2013), 1-12.

[29] CSRS-PPP: The Canadian Spatial Reference System-PPP, https://webapp.csrs-scrs.nrcan-rncan.gc.ca/geod/account-compte/login.php (erişim 13 Eylül 2021).

[30] N. F. Erbaş, Hassas Nokta Konumlama (PPP) Hata Kaynaklarının Konum Doğruluklarına Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, 2021.

[31] T. Erol, Web tabanlı CSRS-PPP uygulamasının farklı uydu sistemleri üzerindeki performansı, *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*. 8 (2021), 41-56. doi: 10.9733/JGG.2021R0004.T

[32] B. Bahadur & M. Nohutcu, PPPH: A MATLAB-Based Software for Multi-GNSS Precise Point Positioning Analysis, *GPS Solutions*. 113 (2018). doi: 10.1007/s10291-018-0777-z

[33] B. Bahadur & M. Nohutcu, Comparative Analysis of MGEX Products for Post-Processing Multi-GNSS PPP, *Measurement*. 145(2019), 361-369. doi: 10.1016/j.measurement.2019.05.094

[34] CDDIS: The Crustal Dynamics Data Information System, https://cddis.nasa.gov/archive/gnss/products/ (erişim 13 Haziran 2023).

[35] F. Başçiftçi, 24. Güneş Döngüsü Boyunca Meydana Gelen Jeomanyetik Fırtınaların Dağılımı, *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*. *10*(4) (2021), 1394-1403. doi: 10.17798/bitlisfen.955034

[36] OMNIWeb: Goddard Space Fligt Center-SPDF, https://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html (erişim 13 Haziran 2023).

NEÜ PRESS

Necmettin Erbakan Üniversitesi
Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi
Journal of Science and Engineering (NEJSE)
DOI: 10.47112/neufmbd.2023.16

Cilt: 5 Sayı:2 Yıl: 2023 | Araştırma Makelesi / Research Article | E-ISSN: 2667- 7989

Banach Uzaylarında Zenginleştirilmiş Daralmalarla İlişkilendirilen Bir İteratif Algoritma Üzerine Bazı Sonuçlar

Ayşegül KETEN ÇOPUR [1]

[1] Necmettin Erbakan University, Faculty of Science, Department of Mathematics and Computer Science, Konya, Türkiye, aketen@erbakan.edu.tr *(Corresponding Author)*

Makale Bilgileri

Makale Geçmişi
Geliş: 23.10.2023
Kabul: 30.11.2023
Yayın: 31.12.2023
Anahtar Kelimeler:
Banach uzayı,
Ortalama dönüşüm,
Sabit nokta,
Zenginleştirilmiş dönüşüm.

ÖZ

Bu çalışmada, Banach uzaylarında zenginleştirilmiş daralmalar vasıtasıyla tanımlanan, ortalama dönüşüm sınıfları ile üretilen Picard-S algoritması ele alınmıştır. Bu dönüşüm sınıfları kullanılarak Picard-S algoritmasından elde edilen iteratif dizinin, zenginleştirilmiş daralmanın sabit noktasına yakınsaklığı kontrol dizileri üzerinde herhangi ek şartlar olmaksızın elde edilmiştir. Bu dönüşüm sınıfları ile Picard-S ve CR algoritmalarından elde edilen iteratif dizilerin sabit noktaya yakınsaklıklarının denk olduğu gösterilmiş ve aynı dönüşüm sınıfları için Picard-S algoritmasının veri bağlılığı üzerine bir sonuç elde edilmiştir. Elde edilen tüm sonuçlar sonsuz boyutlu Banach uzaylarında sayısal örneklerle desteklenmiştir.

Some Results on an Iterative Algorithm Associated with Enriched Contractions in Banach Spaces

Article Info

Article History
Received: 23.10.2023
Accepted: 30.11.2023
Published: 31.12.2023

Keywords:
Banach space,
Average mapping,
Fixed point,
Enriched mapping.

ABSTRACT

In this study, the Picard-S algorithm, which is generated by the average mapping classes defined by the enriched contractions in Banach spaces, is considered. Using these mapping classes, the convergence of the iterative sequence obtained from the Picard-S algorithm to the fixed point of the enriched contraction has been obtained without any additional conditions on the control sequences. It has been shown that the convergence of the iterative sequences generated by Picard-S and the CR algorithms with these mapping classes to the fixed point is equivalent, and a result regarding the data dependency of the Picard-S algorithm for the same mapping classes has been obtained. All results obtained are supported by numerical examples in infinite-dimensional Banach spaces.

Atıf/Citation: Keten Çopur, A. (2023). Some results on an iterative algorithm associated with enriched contractions in Banach spaces, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, *5*(2), 162-172. https://doi.org/10.47112/neufmbd.2023.16

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

INTRODUCTION AND PRELIMINARIES

Let D be a non-empty set and R be a mapping from D to D. The problem of finding of the points d that satisfy the condition $Rd = d$ is well known in the literature as the fixed point problem. Many problems, such as the problem of finding solutions of an integral or differential equation whose solutions cannot be found by applying existing analytical methods, the image restoration problems, convex optimization problems, and so on, can be considered as fixed point problems through some mappings. Therefore, finding their solutions is often the problem of finding the fixed points of some mappings. It is possible to find many iterative algorithms that converge to the fixed point of mappings under appropriate conditions and defined by various mappings in the literature. We can mentioned [1-11]. The convergence speed, convergence equivalence, stability and data dependency of these algorithms are important for the iterative algorithms to be effective and useful from each other.

Let us recall basic concepts, the terminology and notations used throughout the study. We will denote the set of non-negative integers by $\mathbb{N}$. Let E be a Banach space, D a non-empty convex subset of E and $R: D \to D$ a mapping. The set of fixed points of R will be denoted by the notation $F(R)$.

Let us recall some important iterative algorithms existing in the literature associated with the mapping R. Throughout the study, unless otherwise stated there will be control sequences $\{\alpha_n^i\}_{n=0}^{\infty}$ in $[0,1]$ for $i = 0,1,2$.

The iterative sequence $\{p_n\}_{n=1}^{\infty}$ generated by Picard iterative algorithm associated with the mapping R is defined as follows in [1]

$$p_0 \in D,$$
$$p_{n+1} = Rp_n, n \in \mathbb{N}. \tag{1.1}$$

It is well known that the sequence $\{p_n\}_{n=1}^{\infty}$ converges to the unique fixed point of R if D is a closed subset of a complete metric space and $R: D \to D$ is a mapping satisfying the contraction condition

$$d(Rx, Ry) \leq \delta d(x, y), \text{ for any } x, y \in D \tag{1.2}$$

where $\delta \in [0,1)$ (see, [12]).

The iterative sequence $\{m_n\}_{n=1}^{\infty}$ generated by Mann iterative algorithm associated with the mapping R is defined as follows in [2]

$$m_0 \in D,$$
$$m_{n+1} = (1 - \alpha_n^0)m_n + \alpha_n^0 Rm_n, n \in \mathbb{N}. \tag{1.3}$$

The iterative sequence $\{s_n\}_{n=1}^{\infty}$ generated by Ishikawa iterative algorithm associated with the mapping R is defined as follows in [3]

$$s_0 \in D,$$
$$s_{n+1} = (1 - \alpha_n^0)s_n + \alpha_n^0 Rr_n,$$
$$r_n = (1 - \alpha_n^1)s_n + \alpha_n^1 Rs_n, \ n \in \mathbb{N}. \tag{1.4}$$

The iterative sequence $\{c_n\}_{n=1}^{\infty}$ generated by CR iterative algorithm associated with the mapping R is defined as follows in [4]

$$c_0 \in D,$$
$$c_{n+1} = (1 - \alpha_n^0)q_n + \alpha_n^0 Rq_n,$$
$$q_n = (1 - \alpha_n^1)Rc_n + \alpha_n^1 Rw_n,$$
$$w_n = (1 - \alpha_n^2)c_n + \alpha_n^2 Rc_n, n \in \mathbb{N}. \tag{1.5}$$

The iterative sequence $\{x_n\}_{n=1}^{\infty}$ generated by Picard-S iterative algorithm associated with the mapping R is defined by Gürsoy and Karakaya in [5] (see also, [6]) as follows

$$x_0 \in D,$$
$$x_{n+1} = Ry_n,$$
$$y_n = (1-\alpha_n^1)Rx_n + \alpha_n^1 Rz_n,$$
$$z_n = (1-\alpha_n^2)x_n + \alpha_n^2 Rx_n, n \in \mathbb{N}. \quad (1.6)$$

The iterative algorithms mentioned above have been studied for various mapping classes, and various results such as convergence, convergence speed, convergence equivalence, stability and data dependency of these algorithms have been obtained in the literature (for example, [1-11]).

Gürsoy and Karakaya [5] studied with algorithm (1.6) associated with the mapping R satisfying the contraction condition (1.2). Under extra conditions on the control sequences of this algorithm, they obtained some results dealing with convergence, convergence equivalence, convergence speed and data dependenceny of the algorithm. They also showed with an example that algorithm (1.6) converges faster than the other algorithms mentioned above. Later, Ertürk and Gürsoy [7] obtained that the convergence of algorithm (1.6) for a more general class (quasi strictly contractive mappings) than the class of contraction mappings without adding any conditions on the control sequences. Also, we denote that the convergence of algorithm (1.6) for contraction mappings given in [5, Theorem 1] can be obtained without any extra conditions on the control sequences, as we can observe from the proof of Theorem 2.1 in our study and the proof of [7, Theorem 2.1].

Berinde and Păcurar [8] introduced a class of mappings, called enriched contractions. This class is significant since it is a large class of contraction mappings. An enriched contraction mapping is defined in [8] as follows.

Definition 1.1 Let E be a normed space and $R: E \to E$ be a mapping. If there are the numbers $\theta \in [0, \infty)$ and $\gamma \in [0, \theta + 1)$ satisfying

$$\|\theta(x-y) + Rx - Ry\| \leq \gamma\|x-y\|, \ \forall x, y \in E \quad (1.7)$$

then, the mapping R is called (θ, γ)-enriched contraction [8].

It is shown in [8, Example 1] that every mapping that satisfies contraction condition (1.2) satisfies also enriched contraction condition (1.7). However, there is a mapping that satisfies enriched contraction condition (1.7) but does not satisfy contraction condition (1.2). So, the class of enriched contraction mappings is a large class containing contraction mappings [8].

Let us recall the definition of the class of average mappings, which is another important mapping class.

Definition 1.2 (see, [8]) Let D be a convex subset of a vector space E and $R: D \to D$ be a mapping. For any $\omega \in (0,1)$, the averaged mapping R_ω is defined by

$$R_\omega x = (1-\omega)x + \omega Rx, \ \forall x \in D \quad (1.8)$$

and the sets of fixed points of the mappings R and R_ω coincide. That is, $F(R) = F(R_\omega)$.

Berinde and Păcurar [8, Theorem 2.4] proved that a self mapping R on a Banach space has a unique fixed point if the mapping R is an enriched contraction. They also proved the existence of an iterative algorithm associated with R_ω that converges to the fixed point of R.

Remark 1.1 Berinde and Păcurar showed in the proof of [8, Theorem 2.4] that there exists a number $\omega \in (0,1)$ such that average mapping R_ω in (1.8) is a contraction (with $\omega\gamma$) if the mapping R is a (θ, γ)-enriched contraction.

In the rest of the study, unless otherwise stated, the R_ω will be considered as the averaged mapping in (1.8) defined by an enriched contraction R.

(1.1), (1.3)-(1.6) iterative algorithms have been studied in recent years by associating with the averaged mapping R_ω. Abbas et al. [9, Theorem 4] obtained that a result dealing with the equivalence of the Mann and Ishikawa iterative algorithms associated with R_ω. Anjum et al. [10, Theorem 1] showed that the result in [9, Theorem 4] is also equivalent to Picard iterative algorithm associated with R_ω under appropriate conditions.

Picard S-iterative algorithm associated with R_ω has not been studied so far, to our knowledge. The main aim of this article is to modify the Picard-S algorithm defined by Gürsoy and Karakaya [5] to approach to the fixed points of enriched contraction mappings. Firstly, we proved that the Picard-S algorithm associated with R_ω converges to the fixed point of the enriched contraction R without any extra condition on control sequences. Secondly, we showed that the convergence of Picard-S and CR iterative algorithms associated with R_ω to the fixed point are equivalent to each other. Thirdly, we obtained a result regarding the data dependency of Picard-S algorithm associated with R_ω. Finally, we supported the results obtained with numerical examples, and examined with an example the convergence speeds of Picard-S and some algorithms associated with R_ω.

The lemma given below has an important role for our study.

Lemma 1.1 Let $\{\varrho_n^k\}_{n=0}^\infty$, $k = 1,2$ be two sequences of non-negative real numbers satisfying

$$\varrho_{n+1}^1 \leq \delta\varrho_n^1 + \varrho_n^2, \text{ for all } n \in \mathbb{N}.$$

If $\delta \in [0,1)$ is a constant and $\{\varrho_n^2\}_{n=0}^\infty$ is a sequence which converges to zero, then $\{\varrho_n^1\}_{n=0}^\infty$ is a sequence which converges to zero (see, [11]).

MAIN RESULTS

In this section, we will give the main results obtained from the study. Firstly, we denote that if D is a closed and convex subset of a Banach space E and $R: D \to D$ is a (θ,γ)-enriched contraction, then R has a unique fixed point. Infact, by Remark 1.1, we know that there exists a number $\omega \in (0,1)$ such that mapping $R_\omega: D \to D$ is a contraction. By Banach Contraction Prenciple (see, [12]), R_ω has a unique fixed point. On the other hand, by Definition 1.2, since $F(R) = F(R_\omega)$, we say that R has a unique fixed point. If $\theta = 0$, then it is clear that $R: D \to D$ is a contraction mapping. Since Picard-S algorithm associated with contraction mappings was studied by Gürsoy and Karakaya [5], we will take $\theta > 0$ in this section.

The following result is a modification of [5, Theorem 1] for enriched contraction mappings. It should be noted here that although restrictive assumption $\sum_{n=0}^\infty \alpha_n^1\alpha_n^2 = \infty$ was made on the control sequences $\{\alpha_n^1\}$, $\{\alpha_n^2\} \subset [0,1]$ in [5, Theorem 1], our result was obtained without any restriction on the control sequences.

Theorem 2.1 Let D be a closed and convex subset of a Banach space E and $R: D \to D$ be a (θ,γ)-enriched contraction, $\{\alpha_n^1\}$, $\{\alpha_n^2\} \subset [0,1]$ be any sequences and $x_0^* \in D$ be any initial point. Then, there is a number $\omega \in (0,1)$ such that the sequence $\{x_n^*\}$ generated by Picard-S algorithm associated with R_ω given by

$$\begin{aligned} x_{n+1}^* &= R_\omega y_n^*, \\ y_n^* &= (1-\alpha_n^1)R_\omega x_n^* + \alpha_n^1 R_\omega z_n^*, \\ z_n^* &= (1-\alpha_n^2)x_n^* + \alpha_n^2 R_\omega x_n^*, n \in \mathbb{N} \end{aligned} \tag{1.9}$$

converges to the unique fixed point p^* of R.

Proof Since $\theta > 0$, if $\omega := 1/(\theta+1)$ is taken, then $\omega \in (0,1)$. By the definition of (θ,γ)-enriched contraction, for all $x, y \in D$, we have

$$\|R_\omega x - R_\omega y\| \leq \omega\gamma\|x - y\| \tag{1.10}$$

where, we denote that $\omega\gamma \in (0,1)$. That is, $R_\omega: D \to D$ is a contraction mapping with the fixed $\omega\gamma$ ([8, Theorem 2.4]). Let $\{\alpha_n^1\}$, $\{\alpha_n^2\}$ be any sequences in $[0,1]$, and we consider the sequence $\{x_n\}$ generated by (1.9). By standard methods in [5, Theorem 1], we will prove that $x_n^* \xrightarrow{n\to\infty} p^*$. Using (1.9), (1.10), $\{\alpha_n^1\}$ and $\{\alpha_n^2\}$ in $[0,1]$, we get

$$\begin{aligned}\|z_n^* - p^*\| &= \|(1-\alpha_n^2)x_n^* + \alpha_n^2 R_\omega x_n^* - p^*\| \\ &\le (1-\alpha_n^2)\|x_n^* - p^*\| + \alpha_n^2\omega\gamma\|x_n^* - p^*\| \\ &= [1-\alpha_n^2(1-\omega\gamma)]\|x_n^* - p^*\| \end{aligned} \tag{1.11}$$

and

$$\begin{aligned}\|y_n^* - p^*\| &= \|(1-\alpha_n^1)R_\omega x_n^* + \alpha_n^1 R_\omega z_n^* - p^*\| \\ &\le (1-\alpha_n^1)\omega\gamma\|x_n^* - p^*\| + \alpha_n^1\omega\gamma\|z_n^* - p^*\|. \end{aligned} \tag{1.12}$$

If (1.11) is written in (1.12), then the inequality given below is obtained

$$\begin{aligned}\|y_n^* - p^*\| &\le (1-\alpha_n^1)\omega\gamma\|x_n^* - p^*\| + \alpha_n^1\omega\gamma[1-\alpha_n^2(1-\omega\gamma)]\|x_n^* - p^*\| \\ &= \omega\gamma[1-\alpha_n^1\alpha_n^2(1-\omega\gamma)]\|x_n^* - p^*\|. \end{aligned} \tag{1.13}$$

Thus, by (1.9) and (1.13), we get

$$\begin{aligned}\|x_{n+1}^* - p^*\| &= \|R_\omega y_n^* - p^*\| \\ &\le \omega\gamma\|y_n^* - p^*\| \le (\omega\gamma)^2[1-\alpha_n^1\alpha_n^2(1-\omega\gamma)]\|x_n^* - p^*\|. \end{aligned} \tag{1.14}$$

On the other hand, since $0 < 1-\alpha_n^1\alpha_n^2(1-\omega\gamma) \le 1$, for all $n \in \mathbb{N}$, by (1.14), we obtain

$$\|x_{n+1}^* - p^*\| \le (\omega\gamma)^2\|x_n^* - p^*\|.$$

Since $\omega\gamma < 1$, by Lemma 1.1, we get $x_n^* \xrightarrow{n\to\infty} p^*$. □

The result given below is a modification of [5, Theorem 2] for enriched contraction mappings. The result shows that the convergence of Picard-S and CR algorithms associated with R_ω to the fixed point is equivalent. We denote that the result is obtained on the control sequences $\{\alpha_n^0\}$, $\{\alpha_n^1\}$, $\{\alpha_n^2\} \subset [0,1]$ without any extra conditions.

Theorem 2.2 Let D, E and R be as in Theorem 2.1, $\{\alpha_n^0\}$, $\{\alpha_n^1\}$, $\{\alpha_n^2\} \subset [0,1]$ be any sequences and x_0^*, $c_0^* \in D$ be any initial points. Then, there is a number $\omega \in (0,1)$ such that the sequence $\{x_n^*\}$ generated by (1.9) and the sequence $\{c_n^*\}$ generated by CR algorithm associated with R_ω given by

$$\begin{aligned} c_{n+1}^* &= (1-\alpha_n^0)q_n^* + \alpha_n^0 R_\omega q_n^*, \\ q_n^* &= (1-\alpha_n^1)R_\omega c_n^* + \alpha_n^1 R_\omega w_n^*, \\ w_n^* &= (1-\alpha_n^2)c_n^* + \alpha_n^2 R_\omega c_n^*,\ n \in \mathbb{N} \end{aligned} \tag{1.15}$$

are equivalent in the case of convergence to the fixed point p^* of R. That is, $x_n^* \xrightarrow{n\to\infty} p^*$ if and only if $c_n^* \xrightarrow{n\to\infty} p^*$.

Proof If the mapping R is a (θ,γ)-enriched contraction, then by the proof of [8, Theorem 2.4], we know that there is a number $\omega \in (0,1)$ such that R_ω is a contraction mapping with $\omega\gamma$. We will prove this theorem by standard methods in [5, Theorem 2]. Let us consider algorithms (1.9) and (1.15) associated with R_ω.

We assume that $x_n^* \xrightarrow{n\to\infty} p^*$. By (1.9) and (1.15), we get, for all $n \in \mathbb{N}$

$$\begin{aligned}\|x_{n+1}^* - c_{n+1}^*\| &= \|R_\omega y_n^* - (1-\alpha_n^0)q_n^* - \alpha_n^0 R_\omega q_n^*\| \\ &\le (1-\alpha_n^0)\|R_\omega y_n^* - q_n^*\| + \alpha_n^0\|R_\omega y_n^* - R_\omega q_n^*\| \end{aligned}$$

$$\leq (1-\alpha_n^0)\|R_\omega y_n^* - y_n^*\| + (1-\alpha_n^0)\|y_n^* - q_n^*\| + \alpha_n^0\omega\gamma\|y_n^* - q_n^*\|$$
$$= (1-\alpha_n^0+\alpha_n^0\omega\gamma)\|y_n^* - q_n^*\| + (1-\alpha_n^0)\|R_\omega y_n^* - y_n^*\|. \quad (1.16)$$

On the other hand, by (1.9) and (1.15), we get the inequalities given below

$$\|y_n^* - q_n^*\| = \|(1-\alpha_n^1)R_\omega x_n^* + \alpha_n^1 R_\omega z_n^* - (1-\alpha_n^1)R_\omega c_n^* - \alpha_n^1 R_\omega w_n^*\|$$
$$\leq (1-\alpha_n^1)\|R_\omega x_n^* - R_\omega c_n^*\| + \alpha_n^1\|R_\omega z_n^* - R_\omega w_n^*\|$$
$$\leq (1-\alpha_n^1)\omega\gamma\|x_n^* - c_n^*\| + \alpha_n^1\omega\gamma\|z_n^* - w_n^*\| \quad (1.17)$$

and

$$\|z_n^* - w_n^*\| = \|(1-\alpha_n^2)x_n^* + \alpha_n^2 R_\omega x_n^* - (1-\alpha_n^2)c_n^* - \alpha_n^2 R_\omega c_n^*\|$$
$$\leq (1-\alpha_n^2)\|x_n^* - c_n^*\| + \alpha_n^2\omega\gamma\|x_n^* - c_n^*\|$$
$$= [1-\alpha_n^2(1-\omega\gamma)]\|x_n^* - c_n^*\|. \quad (1.18)$$

If (1.18) is written in (1.17), then the inequality given below is obtained

$$\|y_n^* - q_n^*\| \leq (1-\alpha_n^1)\omega\gamma\|x_n^* - c_n^*\| + \alpha_n^1\omega\gamma[1-\alpha_n^2(1-\omega\gamma)]\|x_n^* - c_n^*\|$$
$$= \omega\gamma[1-\alpha_n^1\alpha_n^2(1-\omega\gamma)]\|x_n^* - c_n^*\|. \quad (1.19)$$

So, inequality (1.16) turns into the following inequality

$$\|x_{n+1}^* - c_{n+1}^*\| \leq (1-\alpha_n^0+\alpha_n^0\omega\gamma)\omega\gamma[1-\alpha_n^1\alpha_n^2(1-\omega\gamma)]\|x_n^* - c_n^*\| + (1-\alpha_n^0)\|R_\omega y_n^* - y_n^*\|.$$

Using $1-\alpha_n^0+\alpha_n^0\omega\gamma \leq 1$, $1-\alpha_n^1\alpha_n^2(1-\omega\gamma) \leq 1$ and $1-\alpha_n^0 \leq 1$, for all $n \in \mathbb{N}$, we obtain

$$\|x_{n+1}^* - c_{n+1}^*\| \leq \omega\gamma\|x_n^* - c_n^*\| + \|R_\omega y_n^* - y_n^*\|. \quad (1.20)$$

If the continuity of the mapping R_ω, algorithm (1.9), $\{\alpha_n^1\}$, $\{\alpha_n^2\} \subset [0,1]$ and $x_n^* \xrightarrow{n\to\infty} p^*$ are used, then $\|R_\omega y_n^* - y_n^*\| \xrightarrow{n\to\infty} 0$ is obtained. Also, since $\omega\gamma < 1$, using Lemma 1.1 in (1.20), $\|x_n^* - c_n^*\| \xrightarrow{n\to\infty} 0$ is obtained. By hypothesis, this denotes that $\|c_n^* - p^*\| \xrightarrow{n\to\infty} 0$.

Conversely, assume that $c_n^* \xrightarrow{n\to\infty} p^*$. By (1.9), (1.15) and (1.19), we have the inequality given below, for all $n \in \mathbb{N}$

$$\|c_{n+1}^* - x_{n+1}^*\| = \|(1-\alpha_n^0)q_n^* + \alpha_n^0 R_\omega q_n^* - R_\omega y_n^*\|$$
$$\leq \|q_n^* - R_\omega y_n^*\| + \alpha_n^0\|q_n^* - R_\omega q_n^*\|$$
$$\leq \|R_\omega q_n^* - q_n^*\| + \|R_\omega q_n^* - R_\omega y_n^*\| + \alpha_n^0\|q_n^* - R_\omega q_n^*\|$$
$$\leq (\alpha_n^0+1)\|R_\omega q_n^* - q_n^*\| + \omega\gamma\|q_n^* - y_n^*\|$$
$$\leq (\alpha_n^0+1)\|R_\omega q_n^* - q_n^*\| + (\omega\gamma)^2[1-\alpha_n^1\alpha_n^2(1-\omega\gamma)]\|x_n^* - c_n^*\|.$$

Since $1-\alpha_n^1\alpha_n^2(1-\omega\gamma) \leq 1$ and $\alpha_n^0+1 \leq 2$, for all $n \in \mathbb{N}$, the inequality can be written as follows

$$\|c_{n+1}^* - x_{n+1}^*\| \leq (\omega\gamma)^2\|c_n^* - x_n^*\| + 2\|R_\omega q_n^* - q_n^*\|. \quad (1.21)$$

If the continuity of R_ω, algorithm (1.15), $\{\alpha_n^1\}$, $\{\alpha_n^2\} \subset [0,1]$ and $c_n^* \xrightarrow{n\to\infty} p^*$are used, then $\|R_\omega q_n^* - q_n^*\| \xrightarrow{n\to\infty} 0$ is obtained. Also, since $\omega\gamma < 1$, using Lemma 1.1 in (1.21), it is obtained $\|c_n^* - x_n^*\| \xrightarrow{n\to\infty} 0$. By hypothesis, this denotes that $\|x_n^* - p^*\| \xrightarrow{n\to\infty} 0$. Thus, the proof is completed. □

Finally, we will give a result on data dependency for Picard-S algorithm associated with R_ω. We denote that the result is a modification of [5, Theorem 4] for Picard-S algorithm associated with R_ω and it is obtained without any extra conditions on control sequences.

Theorem 2.3 Let D, E, R, x_0^*, $\{\alpha_n^1\}$ and $\{\alpha_n^2\}$ be as in Theorem 2.1. Let $\tilde{R}: D \to D$ be a mapping such that

$\|Rx - \tilde{R}x\| < \varepsilon$, for all $x \in D$ (where ε is an enough small number) and $\tilde{p}^*$ be a fixed point of $\tilde{R}$. Then, there is a number $\omega \in (0,1)$, and if the sequence $\{\tilde{x}_n^*\}$ generated by $\tilde{R}_\omega$

$$\tilde{x}_0^* \in D,$$
$$\tilde{x}_{n+1}^* = \tilde{R}_\omega \tilde{y}_n^*,$$
$$\tilde{y}_n^* = (1-\alpha_n^1)\tilde{R}_\omega \tilde{x}_n^* + \alpha_n^1 \tilde{R}_\omega \tilde{z}_n^*,$$
$$\tilde{z}_n^* = (1-\alpha_n^2)\tilde{x}_n^* + \alpha_n^2 \tilde{R}_\omega \tilde{x}_n^*, \ n \in \mathbb{N} \quad (1.22)$$

converges to $\tilde{p}^*$ (where $\tilde{R}_\omega$ is the averaged mapping associated with $\tilde{R}$), then

$$\|p^* - \tilde{p}^*\| \leq \frac{\omega\varepsilon(\vartheta^2 + \vartheta + 1)}{1 - \vartheta^2} \quad (1.23)$$

in which $\vartheta = \omega\gamma$.

Proof By the proof of [8, Theorem 2.4], we know that there is a number $\omega \in (0,1)$ such that the mapping R_ω is a contraction with the number $\omega\gamma$. We will prove this theorem by standard methods in [5, Theorem 4]. Using (1.9), (1.22), (1.8), the contraction condition of R_ω and the choice of $\tilde{R}$, we get the inequalities given below, for all $n \in \mathbb{N}$

$$\begin{aligned}\|x_{n+1}^* - \tilde{x}_{n+1}^*\| &= \|R_\omega y_n^* - R_\omega \tilde{y}_n^* + R_\omega \tilde{y}_n^* - \tilde{R}_\omega \tilde{y}_n^*\| \\ &\leq \omega\gamma\|y_n^* - \tilde{y}_n^*\| + \omega\varepsilon \end{aligned} \quad (1.24)$$

and

$$\begin{aligned}\|y_n^* - \tilde{y}_n^*\| &= \|(1-\alpha_n^1)R_\omega x_n^* + \alpha_n^1 R_\omega z_n^* - (1-\alpha_n^1)\tilde{R}_\omega \tilde{x}_n^* - \alpha_n^1 \tilde{R}_\omega \tilde{z}_n^*\| \\ &\leq (1-\alpha_n^1)\|R_\omega x_n^* - R_\omega \tilde{x}_n^* + R_\omega \tilde{x}_n^* - \tilde{R}_\omega \tilde{x}_n^*\| + \alpha_n^1\|R_\omega z_n^* - R_\omega \tilde{z}_n^* + R_\omega \tilde{z}_n^* - \tilde{R}_\omega \tilde{z}_n^*\| \\ &\leq (1-\alpha_n^1)\left[\|R_\omega x_n^* - R_\omega \tilde{x}_n^*\| + \|R_\omega \tilde{x}_n^* - \tilde{R}_\omega \tilde{x}_n^*\|\right] \\ &\quad + \alpha_n^1\left[\|R_\omega z_n^* - R_\omega \tilde{z}_n^*\| + \|R_\omega \tilde{z}_n^* - \tilde{R}_\omega \tilde{z}_n^*\|\right] \\ &\leq (1-\alpha_n^1)[\omega\gamma\|x_n^* - \tilde{x}_n^*\| + \omega\varepsilon] + \alpha_n^1[\omega\gamma\|z_n^* - \tilde{z}_n^*\| + \omega\varepsilon] \\ &= (1-\alpha_n^1)\omega\gamma\|x_n^* - \tilde{x}_n^*\| + \alpha_n^1\omega\gamma\|z_n^* - \tilde{z}_n^*\| + \omega\varepsilon \end{aligned} \quad (1.25)$$

and

$$\begin{aligned}\|z_n^* - \tilde{z}_n^*\| &= \|(1-\alpha_n^2)x_n^* + \alpha_n^2 R_\omega x_n^* - (1-\alpha_n^2)\tilde{x}_n^* - \alpha_n^2 \tilde{R}_\omega \tilde{x}_n^*\| \\ &\leq (1-\alpha_n^2)\|x_n^* - \tilde{x}_n^*\| + \alpha_n^2\|R_\omega x_n^* - R_\omega \tilde{x}_n^* + R_\omega \tilde{x}_n^* - \tilde{R}_\omega \tilde{x}_n^*\| \\ &\leq (1-\alpha_n^2)\|x_n^* - \tilde{x}_n^*\| + \alpha_n^2[\omega\gamma\|x_n^* - \tilde{x}_n^*\| + \omega\varepsilon] \\ &= [1 - \alpha_n^2(1-\omega\gamma)]\|x_n^* - \tilde{x}_n^*\| + \alpha_n^2\omega\varepsilon. \end{aligned} \quad (1.26)$$

By inequalities (1.24)-(1.26),

$$\|x_{n+1}^* - \tilde{x}_{n+1}^*\| \leq (\omega\gamma)^2[1 - \alpha_n^1\alpha_n^2(1-\omega\gamma)]\|x_n^* - \tilde{x}_n^*\| + \alpha_n^1\alpha_n^2(\omega\gamma)^2\omega\varepsilon + \omega^2\gamma\varepsilon + \omega\varepsilon \quad (1.27)$$

is obtained. Since $1 - \alpha_n^1\alpha_n^2(1-\omega\gamma) \leq 1$ and $\alpha_n^1\alpha_n^2 \leq 1$, for all $n \in \mathbb{N}$, we get

$$\|x_{n+1}^* - \tilde{x}_{n+1}^*\| \leq (\omega\gamma)^2\|x_n^* - \tilde{x}_n^*\| + (\omega\gamma)^2\omega\varepsilon + \omega^2\gamma\varepsilon + \omega\varepsilon. \quad (1.28)$$

Considering that $x_n^* \xrightarrow{n\to\infty} p^*$ and $\tilde{x}_n^* \xrightarrow{n\to\infty} \tilde{p}^*$, if the limits of both sides are taken in inequality (1.28), then the inequality given below is obtained.

$$\begin{aligned}\|p^* - \tilde{p}^*\| &\leq (\omega\gamma)^2\|p^* - \tilde{p}^*\| + (\omega\gamma)^2\omega\varepsilon + \omega^2\gamma\varepsilon + \omega\varepsilon \\ &= (\omega\gamma)^2\|p^* - \tilde{p}^*\| + \omega\varepsilon[(\omega\gamma)^2 + \omega\gamma + 1].\end{aligned}$$

Thus, an upper bound on difference between fixed points p^* and $\tilde{p}^*$ is obtained as

$$\|p^* - \tilde{p}^*\| \leq \frac{\omega\varepsilon[(\omega\gamma)^2 + \omega\gamma + 1]}{1 - (\omega\gamma)^2}.$$

Remark 2.1 If we take $\lim_{n\to\infty} \alpha_n^1 \alpha_n^2 = 0$ or $\lim_{n\to\infty} \alpha_n^1 \alpha_n^2 = 1$ additionally in the hypotheses of Theorem 2.3, then, by inequality (1.27), we get $\|p^* - \tilde{p}^*\| \leq \frac{\omega\varepsilon}{1-\omega\gamma}$.

NUMERICAL EXAMPLES

In this section, we will give some examples to support the theoretical results we obtained.

The first example given below demonstrates the accuracy and validity of the results in Theorem 2.1 and Theorem 2.2, as well as the convergence speeds of Picard-S, CR, Picard, Mann and Ishikawa algorithms associated with the averaged mapping R_ω.

Example 3.1 Let $E = l_1 = \{\{\alpha_n\}_{n=0}^{\infty} : \sum_{n=0}^{\infty}|\alpha_n| < \infty\}$ with the norm $\|\{\alpha_n\}_{n=0}^{\infty}\| = \sum_{n=0}^{\infty}|\alpha_n|$ and $D = \{\{\alpha_n\}_{n=0}^{\infty} \in E : \|\{\alpha_n\}_{n=0}^{\infty}\| \leq 1\}$. It is well known that E is a Banach space and D is a convex and closed subset of E (see, [13]). We define the mapping $R: D \to D$ as follows

$$R(\{\alpha_n\}_{n=0}^{\infty}) = \{\mu_n\}_{n=0}^{\infty}, \quad \mu_n = \begin{cases} -\frac{\alpha_0}{2}, & n = 0 \\ \frac{\alpha_{n-1} - \alpha_n}{2}, & n \geq 1. \end{cases}$$

It can easily be seen that R is well defined. For every $\alpha = \{\alpha_n\}_{n=0}^{\infty}$, $\beta = \{\beta_n\}_{n=0}^{\infty} \in D$

$$\|R\alpha - R\beta\| \leq \left|\frac{\alpha_0 - \beta_0}{2}\right| + \left|\frac{\alpha_0 - \beta_0}{2}\right| + \left|\frac{\alpha_1 - \beta_1}{2}\right| + \left|\frac{\alpha_1 - \beta_1}{2}\right| + \cdots$$
$$= \sum_{k=0}^{\infty}|\alpha_k - \beta_k| = \|\alpha - \beta\|.$$

So, R is a nonexpansive mapping. However, R is not a contraction mapping. Indeed, for $\alpha = \{0,1,0,0,0, \dots\}$ and $\beta = \{0,0,1,0,0,0, \dots\}$

$$\|R\alpha - R\beta\| = \left\|\left\{0, -\tfrac{1}{2}, 1, -\tfrac{1}{2}, 0,0,0, \dots\right\}\right\| = 2 \text{ and } \|\alpha - \beta\| = 2.$$

Thus, there is not a number $\delta \in [0,1)$ satisfying the condition $\|R\alpha - R\beta\| \leq \delta\|\alpha - \beta\|$. Now, we will show that R is an enriched contraction mapping. For every $\alpha = \{\alpha_n\}_{n=0}^{\infty}$, $\beta = \{\beta_n\}_{n=0}^{\infty} \in D$

$$\|\theta(\alpha - \beta) + R\alpha - R\beta\|$$
$$= \left\|\{\theta(\alpha_0 - \beta_0), \theta(\alpha_1 - \beta_1), \theta(\alpha_2 - \beta_2), \dots\} + \left\{-\tfrac{\alpha_0-\beta_0}{2}, \tfrac{\alpha_0-\beta_0-(\alpha_1-\beta_1)}{2}, \tfrac{\alpha_1-\beta_1-(\alpha_2-\beta_2)}{2}, \dots\right\}\right\|$$
$$= \left\|\left\{\left(\theta - \tfrac{1}{2}\right)(\alpha_0 - \beta_0), \left(\theta - \tfrac{1}{2}\right)(\alpha_1 - \beta_1) + \tfrac{1}{2}(\alpha_0 - \beta_0), \left(\theta - \tfrac{1}{2}\right)(\alpha_2 - \beta_2) + \tfrac{1}{2}(\alpha_1 - \beta_1), \dots\right\}\right\|$$
$$\leq \left(\left|\theta - \tfrac{1}{2}\right| + \tfrac{1}{2}\right)\sum_{k=0}^{\infty}|\alpha_k - \beta_k| = \left(\left|\theta - \tfrac{1}{2}\right| + \tfrac{1}{2}\right)\|\alpha - \beta\|.$$

If $0 < \theta < \frac{1}{2}$, then we can take $\gamma = 1 - \theta$. In this case, R is a $(\theta, 1-\theta)$-enriched contraction mapping with $0 < \theta < \frac{1}{2}$. If $\theta \geq \frac{1}{2}$, then we can take $\gamma = \theta$. In this case, R is a (θ, θ)-enriched contraction mapping with $\theta \geq \frac{1}{2}$. Thus, E, D and R satisfy all conditions of Theorem 2.1. Also, R has a unique fixed point $p^* = \{0,0,0, \dots\}$.

Let $\alpha_n^0 = \alpha_n^1 = \alpha_n^2 = \frac{1}{n+1}$, for all $n \in \mathbb{N}$. For these chosen control sequences, Abbas et al. [9, Theorem 4] showed that Mann and Ishikawa algorithms associated with R_ω converge to p^*, and Anjum et al. [10, Corollary 1] showed that Picard algorithm associated with R_ω converges to p^*. Let the initial points

of all algorithms be $\left\{\frac{1}{10^{n+1}}\right\}_{n=0}^{\infty}$.

For the values of $\theta = 2/5$ ($\omega = 5/7$), $\theta = 1/2$ ($\omega = 2/3$), $\theta = 2$ ($\omega = 1/3$) and $\theta = 1/10$ ($\omega = 10/11$), we show in Figure 3.1 that the convergence states of the sequences $\{\sigma_n^*\}$ generated by Picard-S, CR, Picard, Mann and Ishikawa algorithms associated with R_ω to the point p^*, respectively.

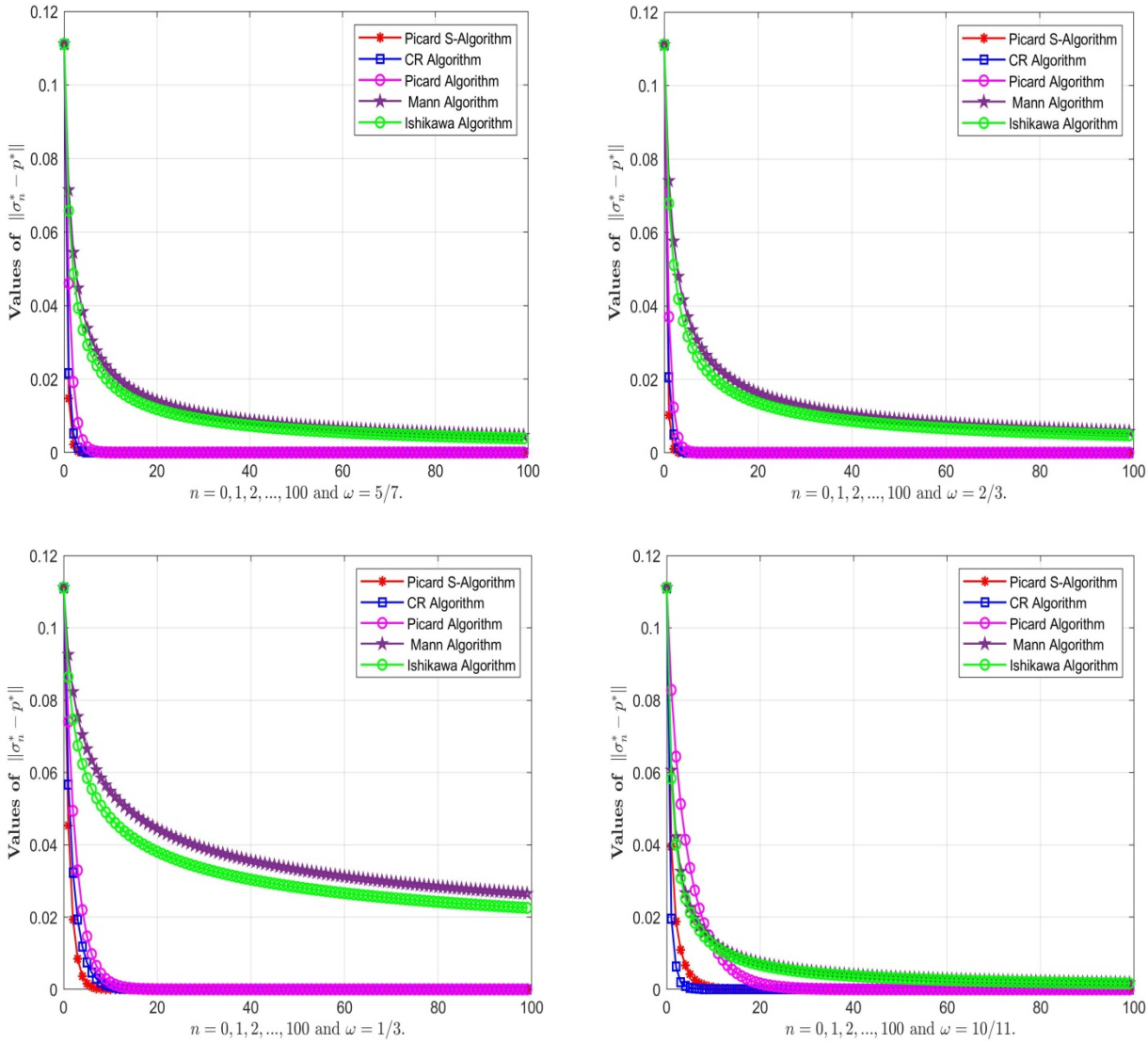


Figure 3.1 *Graphs show the convergence state of algorithms associated with* R_ω.

The following example supporting Theorem 2.3 shows that we can find an upper bound for $\|p^* - \tilde{p}^*\|$ without knowing the values of p^*.

Example 3.2 Let E, D and R be in Example 3.1. We define the mapping $\widetilde{R} : D \to D$ as follows

$$\widetilde{R}\left(\{\alpha_n\}_{n=0}^{\infty}\right) = \{\mu_n\}_{n=0}^{\infty}, \quad \mu_n = \begin{cases} \frac{1}{10}, & n = 0 \\ \frac{\alpha_{n-1}}{2}, & n \geq 1. \end{cases}$$

For all $\alpha = \{\alpha_n\}_{n=0}^{\infty} \in D$, we get

$$\|R\alpha - \widetilde{R}\,\alpha\| = \left|-\frac{\alpha_0}{2} - \frac{1}{10}\right| + \left|-\frac{\alpha_1}{2}\right| + \left|-\frac{\alpha_2}{2}\right| + \left|-\frac{\alpha_3}{2}\right| + \cdots$$

$$\leq \frac{1}{10} + \frac{1}{2}\sum_{k=0}^{\infty}|\alpha_k| \leq \frac{1}{10} + \frac{1}{2} = 0.6$$

Thus, $\varepsilon = 0.6$, and $\tilde{p}^* = \left\{\frac{1}{10}\frac{1}{2^n}\right\}_{n=0}^{\infty}$ is the unique fixed point of $\widetilde{R}$. Let the control sequences be as in Example 3.1. In Figure 3.2, we show that the sequence $\{\tilde{x}_n^*\}$ generated by (1.22) for initial point $\tilde{x}_0^* = x_0^* = \left\{\frac{1}{10^{n+1}}\right\}_{n=0}^{\infty}$ and $\theta = 2/5$ $(\omega = 5/7)$ converges to $\tilde{p}^*$. By (1.23), we have below upper bound for p^* and $\tilde{p}^*$

$$\|p^* - \tilde{p}^*\| = 0.2 \leq \frac{\omega\varepsilon[(\omega\gamma)^2 + \omega\gamma + 1]}{1 - (\omega\gamma)^2} = 0.8464.$$

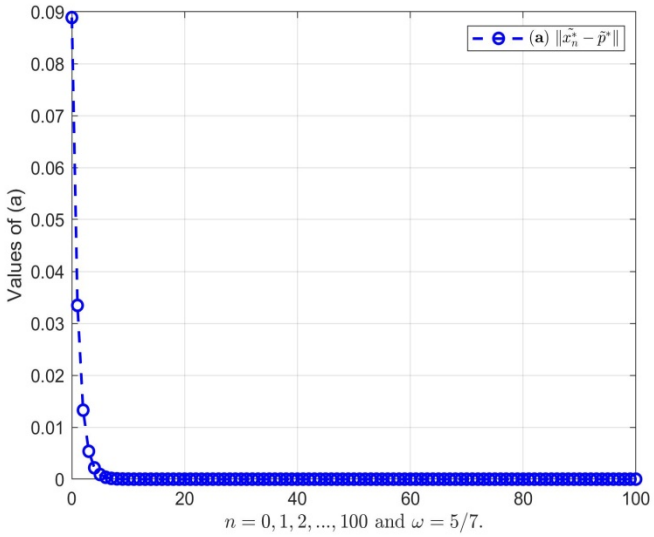


Figure 3.2 *Graph shows the values of* $\|\tilde{x}_n^* - \tilde{p}^*\|$ *for* $n = 0,1,2,\ldots,100$ *and* $\omega = 5/7$.

For the other values of θ in Example 3.1, we get that if $\theta = 1/2$ $(\omega = 2/3)$, then the value of upper bound is 0.65. If $\theta = 2$ $(\omega = 1/3)$, then the value of upper bound is 0.76. If $\theta = 1/10$ $(\omega = 10/11)$, then the value of upper bound is 4.104. That is, for the all values of θ in Example 3.1, inequality (1.23) is satisfied.

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

In this study, we obtained some results on the convergence, data dependency and convergence equivalence of Picard-S algorithm associated with the average mapping of an enriched contraction. All results were obtained without any extra conditions except being at [0,1] of the control sequences. The results obtained were supported by numerical examples. Gürsoy and Karakaya [5] obtained a result showing that the Picard-S algorithm converges faster than the CR algorithm for contraction mappings under some conditions. For enriched contraction mappings, as can be seen from the graphs given in Figure 3.1, this situation changes depending on the choice of ω. In other words, the convergence speeds of Picard-S and CR algorithms associated with R_ω can change depending on the choice of ω. Therefore, a general result comparing the convergence speeds for these algorithms associated with R_ω could not be obtained regardless of the choice of ω. This part is open to researchers interested in the study.

REFERENCES

[1] É. Picard, Memoire sur la theorie des equations aux derivees partielles et la methode des approximations successives, *Journal de Mathématiques pures et appliquées*. 6 (1890), 145-210.

[2] W.R. Mann, Mean value methods in iteration, *Proceedings of the American Mathematical Society*. 4 (1953), 506-510.

[3] S. Ishikawa, Fixed points by a new iteration method, *Proceedings of the American Mathematical Society*. 44(1) (1974), 147-150.

[4] R. Chugh, V. Kumar, S. Kumar, Strong convergence of a new three step iterative scheme in Banach spaces, *American Journal of Computational Mathematics.* 2 (4) (2012), 345-357.

[5] F. Gürsoy, V. Karakaya, A Picard-S hybrid type iteration method for solving a differential equation with retarded argument, (2014), *arXiv preprint arXiv:1403.2546*.

[6] F. Gürsoy, A Picard-S iterative method for approximating fixed point of weak-contraction mappings, *Filomat.* 30 (10) (2016), 2829-2845.

[7] M. Ertürk, F. Gürsoy, Some convergence, stability and data dependency results for a Picard-S iteration method of quasi-strictly contractive operators, *Mathematica Bohemica.* 144 (1) (2019), 69-83.

[8] V. Berinde, M. Păcurar, Approximating fixed points of enriched contractions in Banach spaces, *Journal of Fixed Point Theory and Applications.* 22 (2020), 1-10.

[9] M. Abbas, R. Anjum, V. Berinde, Equivalence of certain iteration processes obtained by two new classes of operators, *Mathematics.* 9 (18) (2021), 2292.

[10] R. Anjum, N. Ismail, A. Bartwal, Implication between certain iterative processes via some enriched mappings, *The Journal of Analysis* (2023), 1-14.

[11] L. Qihou, A convergence theorem of the sequence of Ishikawa iterates for quasi-contractive mappings, *Journal of Mathematical Analysis and Applications.* 146 (2) (1990), 301-305.

[12] V. Berinde, Iterative Approximation of Fixed Points, *Springer*, Berlin, 2007.

[13] R.E. Megginson, An Introduction to Banach Space Theory, *Springer*, New York, 1998.

NEÜ PRESS

Necmettin Erbakan Üniversitesi
Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi
Journal of Science and Engineering (NEJSE)
DOI: 10.47112/neufmbd.2023.17

Cilt: 5 Sayı:2 Yıl: 2023 | Araştırma Makelesi / Research Article | E-ISSN: 2667- 7989

Türkiye'deki İnşaat Sektörünün Finansal Yapısına COVID-19 Etkisi

Fatih BAHADIR[1] Fatih Süleyman BALIK[2] Hüseyin Serdar YALÇINKAYA[3]

[1] Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya Ereğli Kemal Akman Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Konya, Türkiye, fbahadir@erbakan.edu.tr *(Sorumlu Yazar/ Corresponding Author)*

[2] Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya Ereğli Kemal Akman Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Konya, Türkiye, fsbalik@erbakan.edu.tr

[3] Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya Ereğli Kemal Akman Meslek Yüksekokulu, Muhasebe ve Vergi Bölümü, Konya, Türkiye, syalcinkaya@erbakan.edu.tr

Makale Bilgileri

Makale Geçmişi
Geliş: 14.09.2023
Kabul: 31.10.2023
Yayın: 31.12.2023

Anahtar Kelimeler:
Barınma,
İnşaat sektörü,
Covid-19 pandemisi,
Granger nedensellik analizi,
Finansal etki.

ÖZ

İnsanoğlunun ihtiyaçlarından biri olan barınma ile inşaat sektörü ortaya çıkmış ve bu sektör, ticaretin globalleşmesiyle hızlı bir şekilde gelişme göstermiştir. İnşaat sektörü, savaşlar, büyük toplumsal olaylar ve salgın hastalıklar gibi nedenlerden dolayı, işgücü kaybı ve barınma ihtiyacının tam olarak karşılanamaması sonucunda çok çabuk etkilenen sektörler arasında yer almaktadır. 2019 yılında baş gösteren Covid-19 pandemisinden dünya ekonomisi ciddi etkilenmiştir. Ülkemiz ekonomide lokomotif görevi gören inşaat sektörü de Covid-19 pandemisinden etkilenmiş ve sektörde 2019-2022 yılları arasında hızlı bir küçülme söz konusu olmuştur. Hazırlanan bu çalışmada, Covid-19 pandemisinin Türkiye'deki inşaat sektörünü finansal olarak nasıl etkilendiği araştırılmıştır. Bu etkiyi araştırmak için, veri seti olarak T.C. Sağlık Bakanlığından bu pandemide hastalanan ve ölen kişi sayısı, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK)'den ise inşaat sektörü fiyat endeksi ve inşaat sektörü maliyet endeksi verileri kullanılmıştır. Çalışmada metot olarak, zaman serisi için Vektör Otoregresyon (VAR) modeli ve devamında GRANGER nedensellik analizi yapılmıştır. Bu analizler sonucunda, Covid-19 pandemisine bağlı hastalanan ve ölen kişi sayısındaki değişimin genel inşaat satış fiyatlarının ve bina satış fiyatlarının değişimlerine etki ettiği bulunmuştur. Fakat pandemiye bağlı hastalanan ve ölen kişi sayılarındaki değişimin konut sektörü dışında otoyollar, caddeler, köprüler, tüneller, demir yolları, havaalanları, limanlar ve diğer su projeleri, sulama sistemleri, kanalizasyon sistemleri, sanayi tesisleri, boru hatları gibi bina dışı inşaat fiyatlarının değişimine etki etmediği tespit edilmiştir. İnşaat maliyetleri üzerinde yapılan nedensellik analizlerinde ise pandemi değişkenleri ve inşaat maliyet kalemleri arasında herhangi bir nedensellik ilişkisine rastlanılmamıştır. Buna bağlı olarak inşaat sektöründe pandemi inşaat maliyetlerini etkilemezken satış fiyatlarını etkilemiştir. Elde edilen sonuca bağlı olarak pandemi sürecinde inşaat sektörü arzdan kaynaklanan bir sorun yaşamazken, talepten kaynaklanan sorunlarla karşı karşıya kalmıştır.

The Impact of COVID-19 on the Financial Structure of the Construction Industry in Turkey

Article Info

Article History
Received: 14.09.2023
Accepted: 31.10.2023
Published: 31.12.2023

Keywords:
Shelter,
Construction sector,
Covid-19 pandemic,
Granger causality analysis,
Financial affect.

ABSTRACT

The construction sector has emerged with shelter, which is one of the needs of mankind, and this sector has developed rapidly with the globalization of trade. The construction sector is among the sectors that are affected very quickly as a result of workforce loss and inability to fully meet the housing need due to reasons such as wars, major social events and epidemics. The world economy was seriously affected by the Covid-19 pandemic that broke out in 2019. The construction sector, which acts as a locomotive in our country's economy, was also affected by the Covid-19 pandemic, and there was a rapid shrinkage in the sector between 2019 and 2022. In this study, it was investigated how the Covid-19 pandemic financially affected the construction sector in Turkey. In order to investigate this effect, the number of people who got sick and died in this pandemic from the Ministry of Health of the Republic of Turkey and the construction sector price index and construction sector cost index data from the Turkish Statistical Institute (TUIK) were used as the data set. As a method in the study, Vector Auto Regression (VAR) model for time series and subsequent were used. As a result of these analyses, it was found that the change in the number of people who got sick and died due to the Covid-19 pandemic affected the changes in general construction sales prices and building sales prices. However, it has been determined that the change in the number of people getting sick and dying due to the pandemic does not affect the change in prices of non-building constructions such as highways, streets, bridges, tunnels, railways, airports, ports and other water projects, irrigation systems, sewage systems, industrial facilities and pipelines outside the building sector. In the causality analyses conducted on construction costs, no causality relationship was found between pandemic variables and construction cost items. Accordingly, the pandemic in the construction sector did not affect the construction costs, but affected the sales prices. Depending on the result obtained, while the construction sector did not experience a problem caused by supply during the pandemic process, it faced problems arising from demand.

Atıf/Citation: Bahadır, F.; Balık, F.S. & Yalçınkaya, H.S. (2023). Türkiye'deki inşaat sektörünün finansal yapısına covid-19 etkisi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, *5*(2), 173-188. https://doi.org/10.47112/neufmbd.2023.17

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

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Geçmişten günümüze yaşamın olmazsa olmazlarından bir tanesi de barınma ihtiyacıdır. Barınma ihtiyacının sonucu olan konutlar inşaat sektörünü meydana çıkarmıştır. İnşaat sektörü sosyal, kültürel, teknolojik ve ekonomik gibi sebeplerden dolayı devamlı değişkenlik gösteren sektörlerdendir [1]. İnsanlar yaşadığı toplumdaki statüsünden, ekonomik güç gibi etmenlerden dolayı özellikle inşaat sektöründe devamlı yeni arayışlar ve farklı istekler meydana getirmiştir. Ülkelerde devamlı bir dinamik olan bu sektör savaşlar, büyük toplumsal olaylar, salgın hastalıklar gibi toplumu derinden etkileyecek korku ve panik durumuna getiren olaylardan dolayı durağan hale gelebilmektedir. Bütün dünyada 2019 yılında başlayan ve 2022 yılına kadar bütün insanlığı etkileyen bu salgın hastalığın pandemiye dönüşmesi sonucu bütün sektörlerdeki faaliyetler yavaşlama hatta durma noktasına gelmiştir [2]. 2022 yılından bu zamana kadar küresel ekonomi toparlanmaya çalışsa da etkileri hala devam etmektedir.

COVID-19 (SARS-CoV-2) [3,4] veya koronavirüs pandemisi olarak adlandırılan bu küresel salgın 17 Kasım 2019 tarihinde, Çin'in Vuhan şehrinde ilk olarak ortaya çıkmıştır [4]. Bu salgın hastalık, solunum yolu ile bulaş sağlarken belirtileri ise ateş, öksürük, nefes darlığı olan bir hastalıktır. Bütün dünyada hızlıca yayılan bu hastalık, uluslararası sağlık örgütü tarafından (WHO) 11 Mart 2020 tarihinde küresel bir salgın olduğunu resmi olarak açıklamıştır [5]. Bu pandemiden dünyadaki bütün insanlar, öncelikle sağlık açısından birincil etki olarak, diğer yandan ise hasta olmayan insanlar için ise pandeminin getirmiş olduğu ikincil etkilere maruz kalmışlardır. Birincil etki, hastalığın yeni olmasından dolayı bu virüsün ölümcül etkisidir. Bu etkiyi azaltmak amacı ile sağlık kuruluşlarında hasta olan insanlar karantinaya alınarak yayılım hızı düşürülmesi amaçlanmıştır. Bu virüsü tespit etmek amacı ile test kitlerinin üretilmesi ve kullanılması ile hasta sayılarının hızla tespit edilmesi ve buna bağlı önlemlerin alınması sağlanmıştır. Ayrıca insanlar bu virüsü bulaştırmaması için el hijyeni ve maske kullanımı bütün ülkelerde zorunlu hale gelmiştir [6,7,8]. İkincil etkiye neden olan bu salgının hızını yavaşlatmak amacıyla ülkeler dünya çapında önlemler almışlardır. Bunların en önemli bazıları; ülkeler arası kara, deniz ve hava ulaşımlarının kesilmesi veya sınırlandırılması, ihracat yasakları, karantina kararları neticesinde süreli veya süresiz sokağa çıkma yasakları, seyahat yasakları veya sınırlandırılması, toplu yapılan ibadet, konser, tiyatro, sinema gibi faaliyetlerin yasaklanması, işyeri faaliyetlerinin yasaklanması, sınırlanması veya kontrollü olarak yapılması gibi önlemlerdir.

Genel perspektif olarak, inşaat sektörü harcamaları dünyada 2020 yılında %5.8 daralmış ve 9.02 trilyon $ gerilemiştir. Bu pandemi neticesinde dünya ekonomileri inşaat harcamalarında küçülme göstermiştir. 2019 yılında büyüme hızı yavaşlayan bu sektör 2020 yılında bu pandemi nedeniyle önemli ölçüde daralmıştır. Bu daralmadan dolayı ülkelerin lokomotif görevi üstlendiği inşaat ve konut sektörlerinde, hükümetler merkez bankalarının düşük faizli kredi uygulamaları ve ekonomiye verdikleri özel paketler neticesinde toparlanma sürecine girmiştir [9]. 2019-2022 yıllarında Dünya ve Türkiye ekonomilerindeki inşaat maliyetleri ve değişimleri Türkiye İnşaat Malzemesi Sanayicileri Derneği'nin (İMSAD) hazırlamış olduğu yapı sektörü raporlarından yararlanılarak bir özet olarak aşağıda anlatılmıştır.

Dünya ekonomisi, Covid-19 virüsünü pandemi olmadan 2019 yılı Kasım ayında ilk defa tanımasından dolayı bu hastalıktan etkilenmemiştir. Fakat Çin-Amerika Birleşik Devletleri-Rusya üçgeninde dünya ekonomisi küresel büyümesi beklenilenin altında %2.4 oranında kalmıştır. Bu değer gelişmiş ülkelerde %1.7 olurken gelişmekte olan ülkelerde is %3,7 büyüme gözlemlenmiştir. 2019 yılında inşaat harcamalarında Dünyada %2.6 büyüme meydana gelmiş ve inşaat harcamaları 9,58 trilyon $ seviyesinde oluşmuştur [10]. Ülkemizde ise 2019 yılında ekonomide uygulanan sıkı para politikası ve döviz kurlarının yükselmesi sonucu büyüme nerdeyse durma noktasında %0.9 olmuştur. Bu nedenlerden dolayı, inşaat sektöründe ülkemizde 2019 yılında %8.6 küçülme meydana gelmiştir. Bu gelişmeler nedeniyle inşaat harcamaları cari fiyatlarda %9.8 gerilemiştir. İnşaat maliyetleri %11 ve malzeme maliyetleri %5 yükselmiştir [9].

Dünya ekonomisi Covid-19 virüsünün pandemiye dönüştüğü 2020 yılında panik ve belirsizlik nedeniyle %3.6 küçülmüştür. Bu gelişmiş ülkelerde %4.7 değerlerindeyken gelişmekte olan ekonomilerde ise %2.2 küçülmüştür. Dünya inşaat harcamalarında ise % 5.8 küçülmüş ve bu harcamalar 9,02 trilyon $

inmiştir [9]. Ülkemizde 2020 yılında ekonomide uygulanan genişleme politikası neticesinde küçülme olmamış, beklenenin altında %1.8 büyüme kaydedilmiştir. Enflasyonun dünya ekonomisinin küçülmesi ve genişleme politikası neticesinde artmasından dolayı %3.5 küçülme meydana gelmiştir. 2020 yılında inşaat harcamaları cari fiyatlarla %8.1 artmıştır. Bu da inşaat maliyetlerini %25, malzeme maliyetlerini ise %30,3 oranında arttırmıştır [9].

Dünya ekonomisi Covid-19 Pandemisi sonrasında 2021 yılında toparlanma sürecine girmiştir. Küresel ekonomi 2021 yılında %5.8 büyümüştür. Gelişmiş ülkelerde %5.5, gelişmekte olan ülkelerde ise %6,8 büyüme gerçekleşmiştir. Küresel ekonomide 2021 yılında inşaat sektöründe %6 büyümüştür [11]. Ülkemiz ekonomisi ise, 2021 yılında sanayi üretimi, ihracat ve yatırımlara bağlı olarak %11 büyüme gerçekleştirmiştir. Fakat ülkemizde, 2021 yılında inşaat sektörü %0.9 küçülme göstermiştir. İnşaat sektörünün milli gelir içindeki payı 2021 yılında %0.6 düşerek %5,4 olmuştur. İnşaat maliyetleri 2021 yılında %67.7 yükselmiş ve malzeme maliyetleri ise %85.,8 artmıştır. [11]

Küresel ekonomi 2022 yılında, Ukrayna-Rusya savaşı neticesinde oluşan enerji krizi, malzeme tedariki gibi nedenlerden dolayı yeni yeni atlatılan pandemi krizinin olumlu etkilerini görememektedir. Bu nedenle 2021 yılında hızla büyüme gösteren küresel ekonomi 2022 yılında %3.1 büyüyebilmiştir. Büyüme rakamları gelişmiş ülkelerde %2.7 iken gelişmekte olan ülkelerde ise %3,9 olmuştur. Yüksek enerji maliyetleri neticesinde inşaat sektörü sınırlayıcı koşullar meydana gelmiştir. 2022 yılında inşaat harcamaları küresel boyutta %2.2 büyüyebilmiş ve bu harcamaların tutarı 9,77 trilyon$ olmuştur. [12] Ülkemizde ise 2022 yılında %5.6 büyüme oluşmuştur. İnşaat sektörü 2022 yılında bu belirsizlik, jeopolitik nedenler ve enerji maliyetlerinin yükselmesi sonucu %8.4 küçülme meydana gelmiştir. İnşaat sektörü 2018-2022 olmak üzere üst üste 5 yıl daralmıştır. İnşaat maliyetleri 2022 yılında %78.4 ve malzeme maliyetleri ise %75,9 artmıştır [12]. Pandeminin etkilerinin daha hala etkili olması neticesinde yeniden şekillenen dünya ekonomisi, Ukrayna-Rusya savaşı ve Ülkemizde yaşanan asrın felaketi olarak adlandırılan 6 Şubat Kahramanmaraş depremi neticesinde Türkiye'de ekonomi ciddi etkilenmiştir.

Bu çalışmamızda; Covid-19 pandemisinin Türkiye ekonomisinde önemli rol oynayan inşaat sektöründe bırakmış olduğu etkiyi Vektör Otoregresyon (VAR) modeli ve devamında GRANGER nedensellik analizi ile yorumlamayı amaçlanmıştır. Bu analizlerin veri setlerini T.C. Sağlık Bakanlığından alınan Covid-19 pandemisinin etkidiği hasta sayısı ve bu pandemiye bağlı ölen sayısı ile Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK)'den elde edilen inşaat sektörü fiyat endeksi ve inşaat sektörü maliyet endeksi verileri ile ilişkilendirilmiştir. Literatür taramalarından da anlaşılacağı üzere ülkemiz özelinde Covid-19 pandemisinin inşaat sektörü üzerindeki finansal etkisi ile ilgili bir araştırma yapılmamıştır. Daha çok genel sektör analizleri (imalat, turizm gibi) ve konut seçimi üzerinde çalışma yapılmıştır. Bizim çalışmamıza yakın çalışma ise daha lokal olan Ankara ilinde 9 şirket üzerinde yapılan finansal etki çalışmasıdır. Bizim çalışmamız ise, Türkiye genelini kapsayan bir çalışma olması sebebiyle literatürün bu kısmını doldurması amacı ile yapılmıştır.

LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde Covid-19 pandemisinin Türkiye'deki inşaat sektörüne olan etkileri konusu ile ilişkili literatürlerden bahsedilecektir. Covid-19 döneminde sektörel bazda yapılan çalışmaların az sayıda olması bu alanda henüz literatürün yeni oluştuğunu göstermektedir. Bu bağlamda, Covid-19 pandemisinin diğer sektörlerde ve inşaat sektörlerinde etkisi üzerinde yapılmış bazı çalışmalar yapacağımız çalışmaya ışık tutması amacıyla önemli olmaktadır.

Covid-19 pandemisinin Türkiye'deki inşaat dışındaki farklı sektörlerde olan finansal etkileri üzerine yapılan bazı çalışmaların araştırma konuları özetle verilmiştir.

- Demir'in 2020 yılında yapmış olduğu çalışmasında, Covid-19 pandemisinin BİST 100'de bulunan şirketlerin mali tabloları üzerindeki etkilerini oran analizi yöntemi ile araştırmıştır [13].
- Yücel ve Durak'ın 2021 yılında yapmış olduğu çalışmalarında, Covid-19 pandemisinin Borsa İstanbul (BİST) imalat sektöründeki işletmeleri üzerindeki finansal etkilerini araştırmıştır [14].

- Kılıç'ın, 2022 yılında yapmış olduğu çalışmasında, Covid-19 pandemisinin Borsa İstanbul (BİST) Ulaştırma ve Turizm endeksinde yer alan işletmelerinin finansal performansına etkisini araştırmıştır [15].

Covid-19 pandemisinin Türkiye'deki inşaat sektörüne olan etkileri üzerine yapılan benzer bazı çalışmaların araştırma konuları özetle verilmiştir.

- Tanrıvermiş'in 2020 yılında yapmış olduğu çalışmasında, Covid 19'un ilk dalgasından sonra Türkiye'deki emlak sektöründeki verileri kısaca irdelemiş ve geleceği hakkında önerilere yer vermiştir [16].
- Aladağ ve arkadaşlarının 2021 yılında yapmış olduğu çalışmalarında, mücbir sebep faktörü olarak Covid-19 pandemisinin Türk inşaat firmaları tarafından yürütülen inşaat projelerinde taraflar arasında sözleşmesel ilişkiler bazında etkilerinin neler olduğunu araştırılmışlardır [17].
- Gönen ve Çetinkaya'nın 2021 yılında yapmış olduğu çalışmalarında, Covid-19 pandemisinin konut tercihine etkisini Uşak belediyesinden alınan verileri pandemi öncesi ve sonrası değerlendirerek kişilerin pandemi sonrası konut tercihlerindeki değişimi araştırmışlardır [18].
- Usanmaz'ın 2021 yılında yapmış olduğu çalışmasında, tarafından gerçekleştirilen söz konusu araştırma, bir inceleme çalışması olarak COVİD-19'un konut sektörü üzerindeki etkisini araştırmıştır [19].

Derya, Akpınar ve Baran'ın 2022 yılında yapmış olduğu çalışmalarında, Covid-19 pandemisinin Ankara ilinde bulunan 9 adet inşaat sektöründeki 9 adet şirketine olan finansal etkilerini incelemişlerdir [20].

MATERYAL VE METOT (MATERIALS AND METHODS)

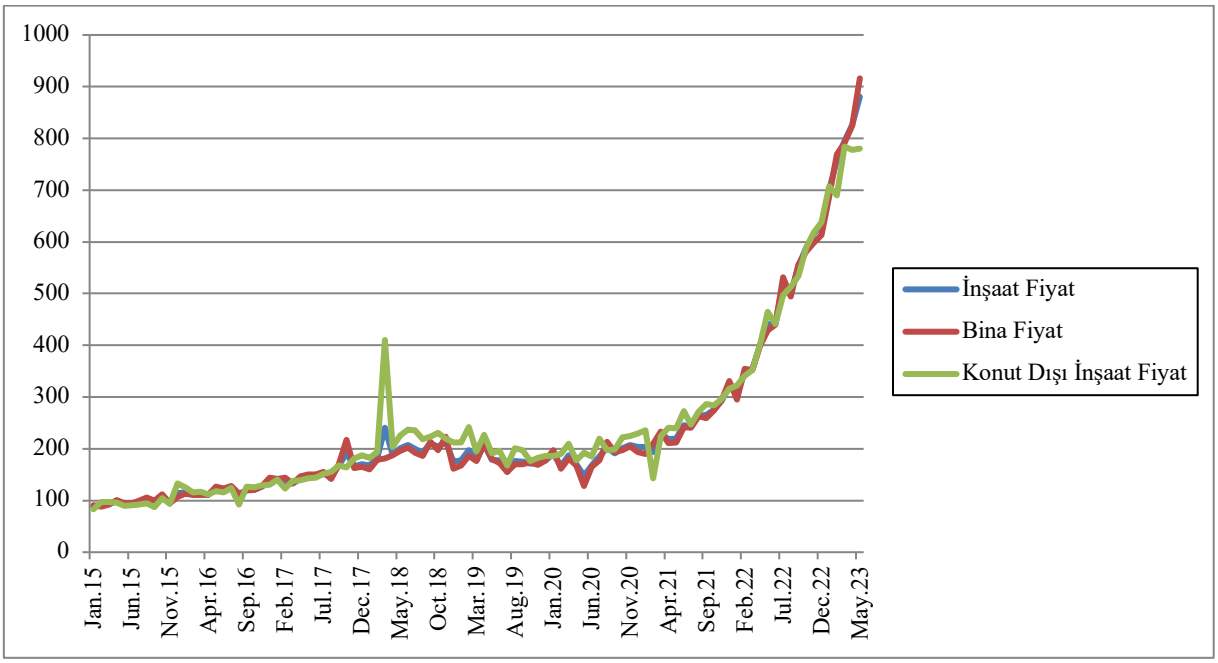
Sektörler arasındaki ilişkiyi araştırmak için genellikle, istatiksel çalışmalarda sıklıkla kullanılan regresyon modelleri kullanılmaktadır. Bu modellerin kullanılabilmesi için açıklayıcı değişken veri seti sabit veya biliniyor olmalı ve bu değere bağlı değişken veri seti ise bağımsız olmalıdır. Genellikle finans ekonomi, yapı işletmesi gibi zamana bağlı serilerde ise, ortalamadan gösterdiği sapma değerlerine göre, durağan ve durağan olmayan seriler olarak incelenmektedir [21]. Araştırmada kullanılan zaman serileri farklı seviyelerde durağan hale geldikleri için regresyon analizini kullanışsız hale gelmekte ve regresyon yerine farklı seviyelerde ancak ortak bir seviyede durağan hale gelen zaman serileri arasındaki ilişkinin varlığını tespit etmek amacı ile Vektör Otoregresyon (VAR) modeli kullanılmaktadır. 1980 yılında Sims tarafından önerilen VAR modeli tüm değişkenlerin bağımlı olarak tanımlandığı vektör ARIMA modelidir [22,23,24]. VAR modeli zaman serilerinin dinamik yapılarının ve birden fazla değişkene ait öngörüler oluşturmakta oldukça faydalı bir model olduğu birçok kez kanıtlanmıştır [25]. VAR modeli her bir değişkeni bağımlı değişken olarak tanımlamasından dolayı değişkenler arasındaki ilişkiyi iyi bir şekilde tespit etse de hangi değişkenin diğerini etkilediğini doğrudan belirtemez. Bunun için etki tepki modelleri kullanılsa da ilişkiyi yorumlamak oldukça güçleşmektedir. Zaman serileri üzerinden değişkenler arasındaki etkileşimi daha iyi yorumlamak adına VAR modeli temelinden yola çıkılarak oluşturulmuş nedensellik modeli Granger (1969) [26] tarafından ortaya atılmıştır.

Çalışmamızda, pandemi ve inşaat sektörü finansal yapısı arasındaki ilişki Vektör Otoregresyon (VAR) modeli üzerinden elde edilecek Granger Nedensellik Analizi (GCA) sonuçları üzerinden tespit edilmeye çalışılacaktır.

Veri Seti (Data)

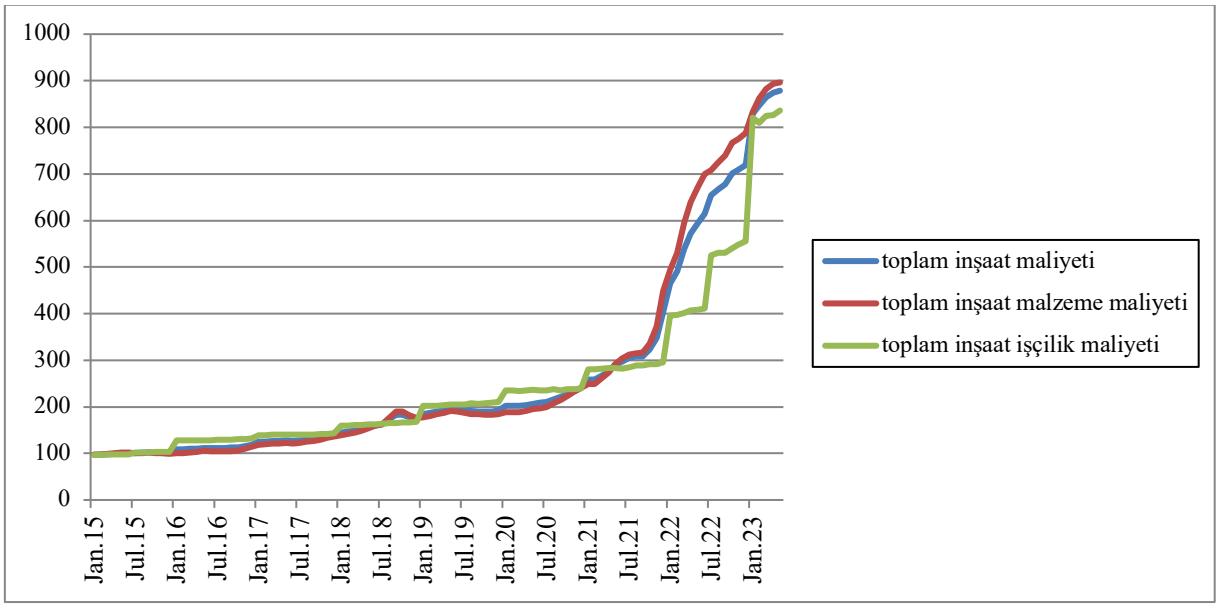
Günümüz dünyasında teknolojilerin hızlı bir şekilde ilerlemesi karmaşık verilerin kısa zamanda istenilen seviyelerde dönüştürülerek bilim insanlarına hizmet vermesi mümkün olmaktadır [27]. Covid-19 pandemisinin inşaat sektörü finansal yapısına olan etkisi 2015 ve 2023 yılı arası aylık inşaat sektörü satış fiyatları, inşaat sektörü işçilik ve malzeme maliyetleri ve Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı veri alt yapısından aylık Covid-19'a bağlı hastalanan ve bu hastalıktan ölen kişi sayıları araştırmanın temel veri setini oluşturmaktadır. [28] İnşaat sektörü verileri TÜİK veri alt yapısından elde edilmiş olup [29] 2015

yılı başlangıç endeks değeri 100 olarak alınmıştır.



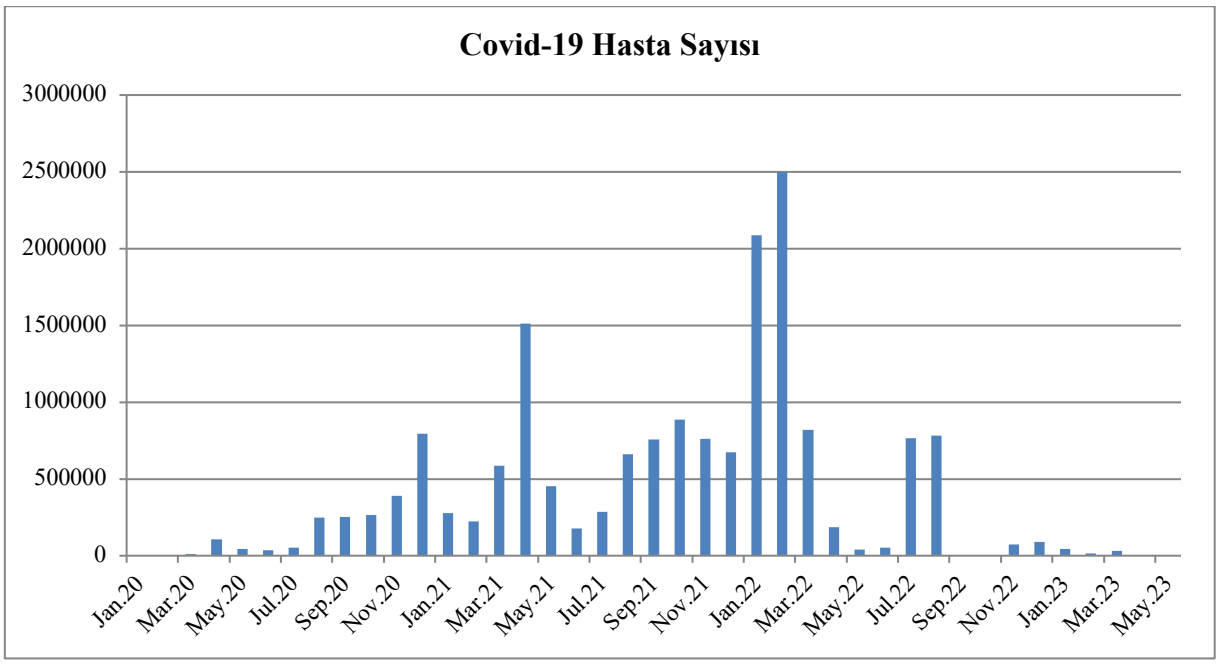
Şekil 1. *İnşaat Sektör Fiyat Endeksi (2015 yılı: 100) Kaynak: TÜİK (Construction Sector Price Index)*

İnşaat sektörü satış fiyatları (Şekil 1) 2016 yılından 2018 yılına kadar yükselme trendine sahipken 2020 yılına kadar yatayda bir seyir izlemiştir. Özellikle pandemi sonrası dönemde ise satış fiyatları çok hızlı logaritmik bir artış trendine dönüşmüştür.



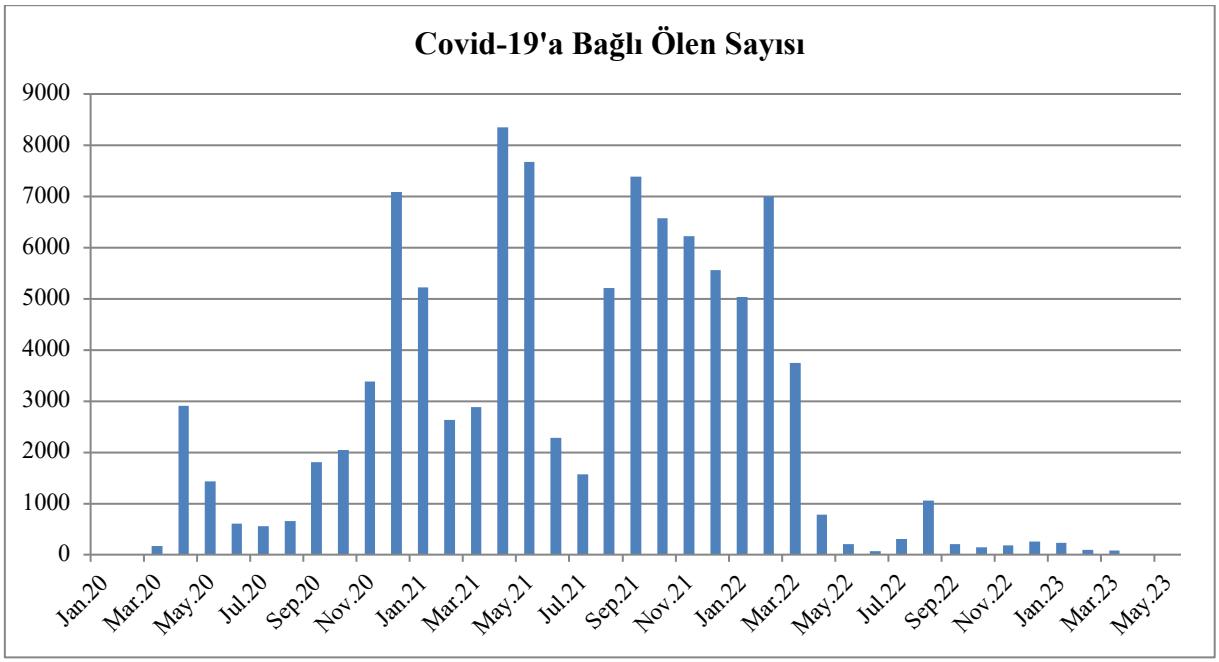
Şekil 2. *İnşaat Sektör Maliyet Endeksi (2015 yılı: 100) Kaynak: TÜİK (Construction Sector Cost Index)*

İnşaat sektörü maliyetlerinin grafiği incelendiğinde (Şekil 2) inşaat maliyet endeks grafiklerinin inşaat sektör satış fiyat endeks grafiklerine oldukça benzer bir yapıya sahip olduğu anlaşılmaktadır. Özellikle 2020 sonrası maliyetler büyük bir hızla artığı gözlemlenmektedir.



Şekil 3. *Türkiye'de Covid-19 Aylık Hasta Sayısı. Kaynak: T.C. Sağlık Bakanlığı (Number of Covid-19 Monthly Patients in Turkey)*

T.C. Sağlık Bakanlığı verileri üzerinden oluşturulan Şekil 3 incelendiğinde Mayıs 2020 döneminde başlayan salgın Şubat 2022 döneminde en yüksek seviyelerine ulaşmış ve Eylül 2022 döneminden sonrasında ise giderek azalmış ve gündemde çıkmıştır.



Şekil 4. *Türkiye'de Covid-19'a Bağlı Aylık Ölen Sayısı. Kaynak: T.C. Sağlık Bakanlığı (Monthly Number of Deaths Due to Covid-19 in Turkey)*

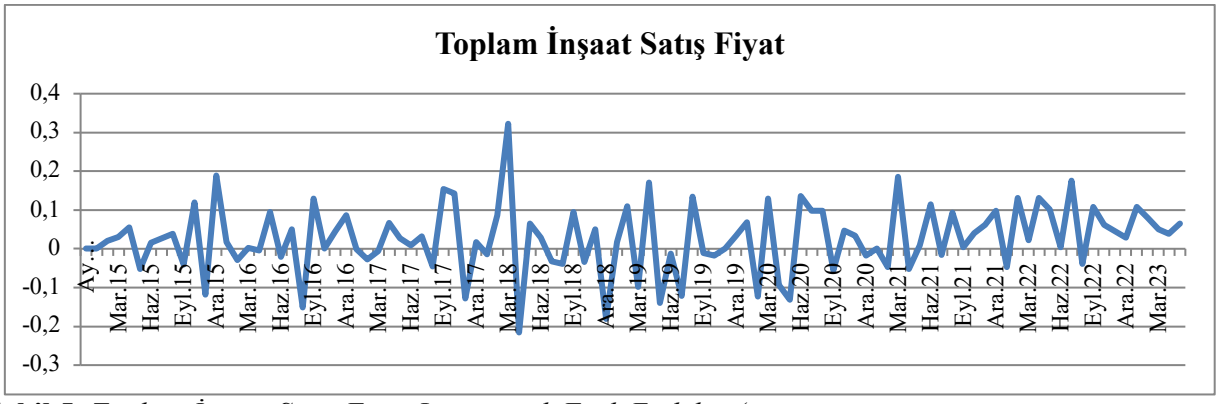
T.C. Sağlık Bakanlığı verileri üzerinden oluşturulan Şekil 4 incelendiğinde ise Covid-19 salgınına bağlı ölüm vaka sayıları görülmektedir. Elde edilen verilere göre en yüksek ölüm vakaları Nisan 2021 döneminde yaşanmış ve sonrasında giderek azalmıştır. Eylül 2022 döneminden sonrasında ise salgına bağlı ölüm vakaları en düşük seviyelere inmiştir.

Covid-19 virüs salgını ile inşaat sektörü finansal yapısı ilişkisi araştırması için elde edilen verilerin grafikleri incelendiğinde oldukça her bir zaman serisinin etkili trend yapılarına sahip olduğu

anlaşılmaktadır. Söz konusu bu trend yapıları zaman serileri araştırmalarında otokorelasyon sorunu ortaya çıkarmakta ve hatalı sonuçlar elde edilmesine neden olabilmektedir [30,31]. Zaman serilerinde otokorelasyon ve birim kök sorunlarının ortadan kaldırılması için her bir değişkeninin logaritmik farkları alınarak zaman serileri tekrar oluşturulmuştur. Zaman serilerinin logaritmik farklarının hesaplanmasında Formül (1) kullanılmıştır.

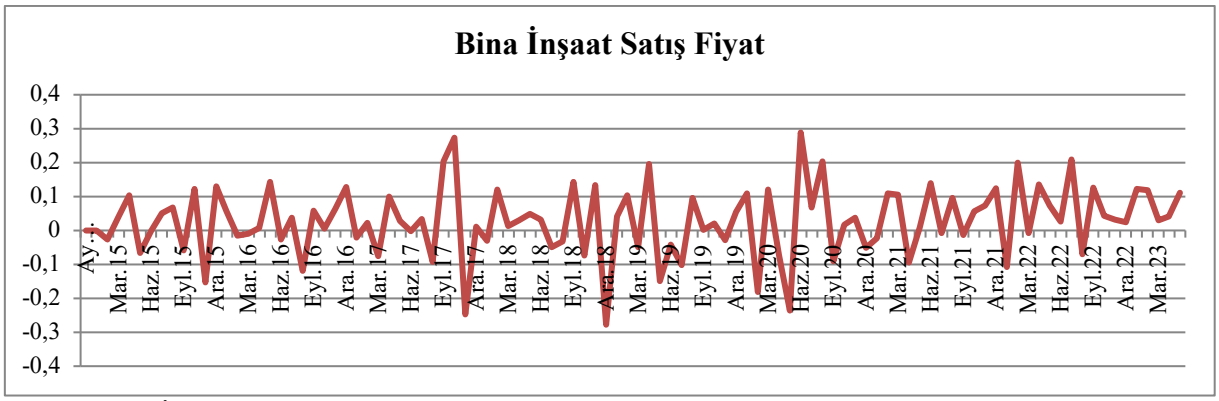
$$X_n = Ln\left(\frac{X_n}{X_{n-1}}\right) \quad (1)$$

Logaritmik farkları alınmış zaman serisi verileri aşağıda grafik olarak sunulmuştur.



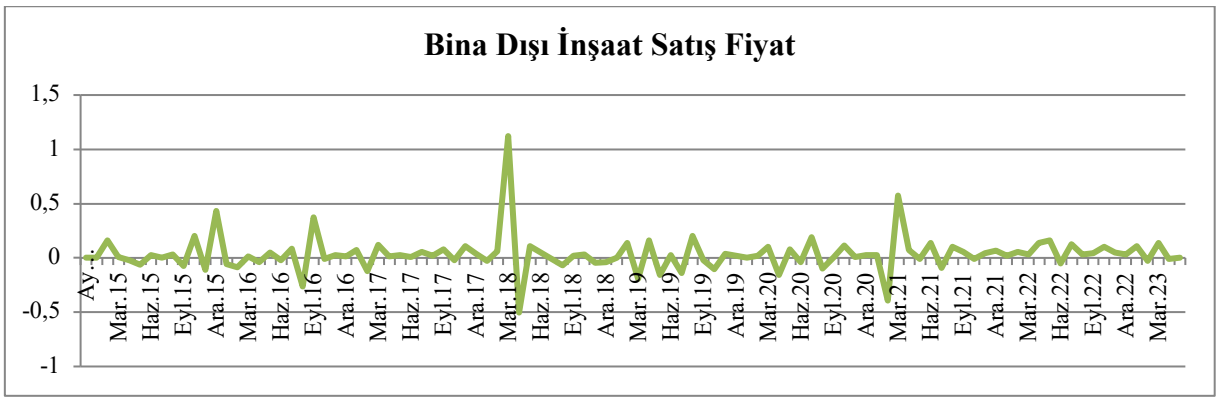
Şekil 5. *Toplam İnşaat Satış Fiyat Logaritmik Fark Endeksi (Total Construction Sales Price Logarithmic Difference Index)*

Logaritmik farkları alınmış toplam inşaat satış fiyat endeksi Şekil 1'de görülen endeks trend yapısından kurtulmuş ve zaman serileri ile analiz edilebilecek yapıya dönüşmüştür. Şekil 5 incelendiğinde toplam inşaat satış fiyat endeksi 2017 yılında ortalamanın üzerinde bir fark değerine ulaşmış ve bu dönemde zaman serisi yapısal bir kırılmaya maruz kalmıştır. Ancak tespit edilen bu durumun zaman serisinde birim kök yapısı oluşturup oluşturmayacağı birim kök testleri ile test edilecektir.



Şekil 6. *Bina İnşaat Satış Fiyat Logaritmik Fark Endeksi (Building Construction Sales Price Logarithmic Difference Index)*

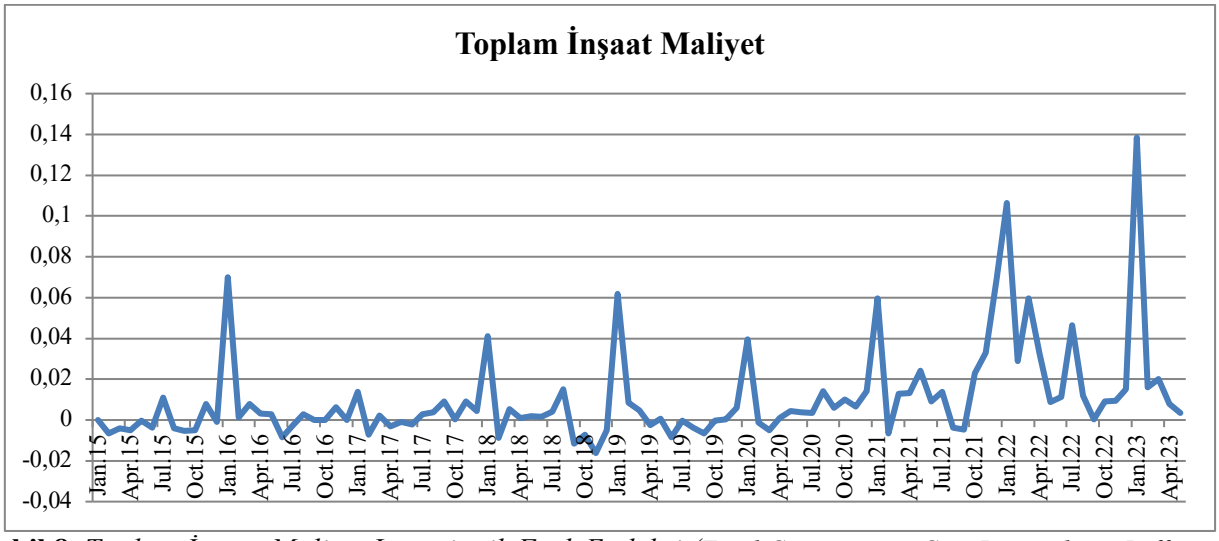
Bina inşaat logaritmik fark satış fiyat endeks grafiği (Şekil 6) incelendiğinde, zaman serisi 2017 ve 2020 yıllarında olmak üzere iki defa yapısal kırılmaya maruz kalmıştır. Belirlenen bu dönemlerde bina inşaat sektör yapısında köklü değişikliklerin olduğu anlaşılmakta ve özellikle 2020 yılı fiyat endeks kırılmasının pandemi ile ilişkili olduğu tahmini yapılmaktadır.



Şekil 7. *Bina Dışı İnşaat Satış Fiyat Logaritmik Fark Endeksi (Non-Building Construction Sales Price Logarithmic Difference Index)*

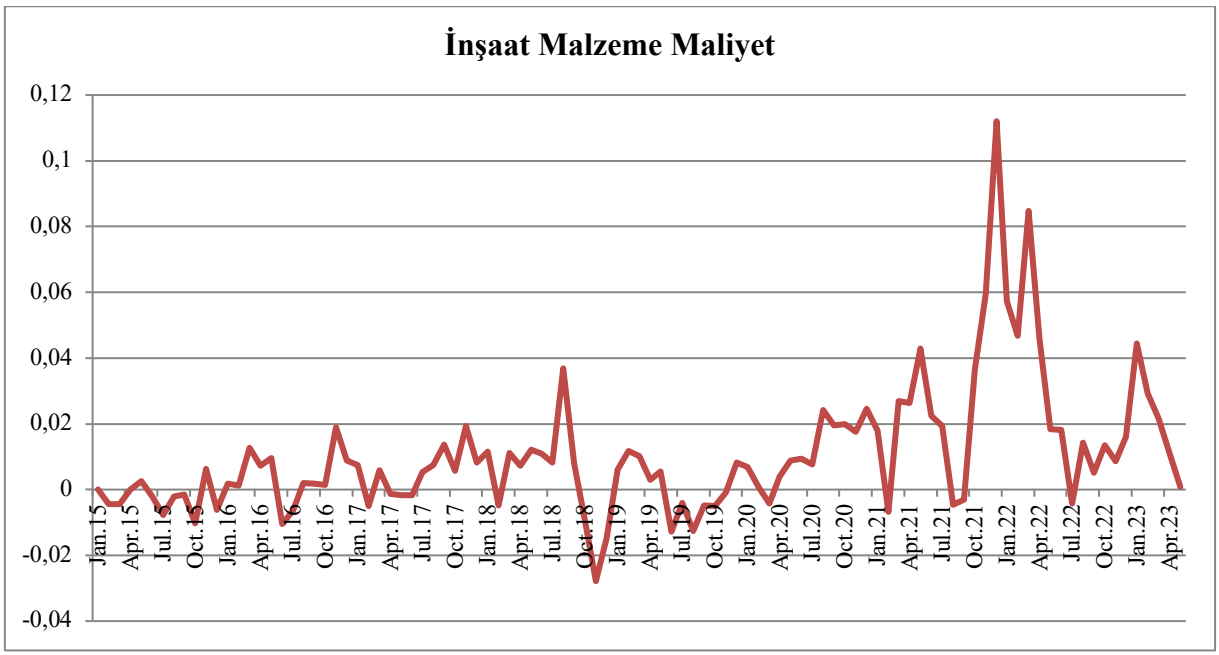
Bina dışı inşaat logaritmik fark satış fiyat endeksi (Şekil 7) incelendiğinde ise yapısal kırılmanın diğer iki endekste olduğu gibi 2017 yılında olmadığı, yapısal kırılmanın 2018 yılında gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Ayrıca söz konusu endekste 2020 yılı sonunda küçük bir kırılma da tespit edilmektedir. Özellikle 2020 yılı sonunda yaşanan anomalinin sebebinin pandemi olduğu tahmin edilmektedir.

İnşaat sektörü satış fiyatlarının logaritmik fark endekslerinin incelenmesinden sonra inşaat sektör maliyet logaritmik fark endekslerinin incelemesi de aşağıda sunulan grafiklerde gösterilmiştir.



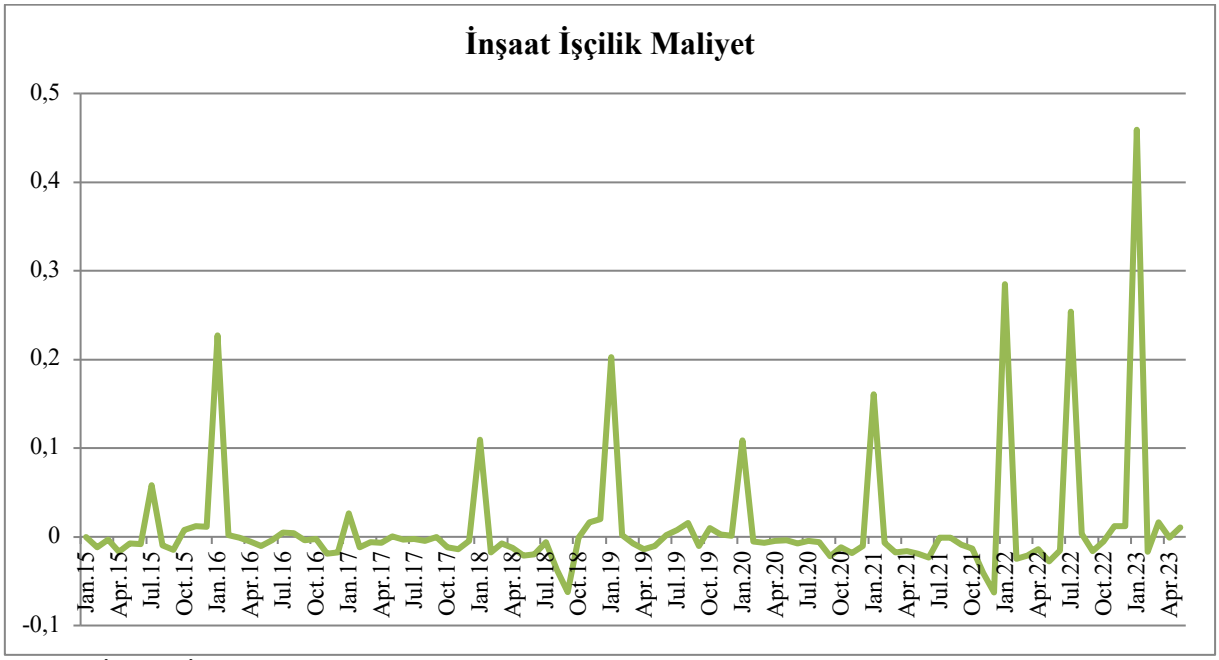
Şekil 8. *Toplam İnşaat Maliyet Logaritmik Fark Endeksi (Total Construction Cost Logarithmic Difference Index)*

Logaritmik farkları alınan inşaat maliyet endeksleri üzerinden trend oluşumları kısmen ortadan kaldırılmış ancak düzenli sayılabilecek fiyat artış şokları da tespit edilmiştir. Bu düzenli fiyat artış şokları zaman serisi üzerinde birim kök ve otokorelasyon yapılarını ortaya çıkarabilecektir. Söz konusu şüphenin doğrulanması için zaman serilerinde birim kök testleri yapılacaktır. Birim kök testleri yapılmadan toplam inşaat maliyet logaritmik fark endeksi incelendiğinde düzenli aralıklarla zaman serisinde yapısal kırılmalar tespit edilmekte ancak zaman serisindeki anomaliler 2020 yılı olan pandemi sürecine denk gelmemektedir. Bu tespite bağlı olarak toplam inşaat maliyet yapısının pandemi ile ilişkisinin zayıf olacağı ya da hiçbir ilişkisinin bulunmayacağı tahmin edilmektedir.



Şekil 9. *İnşaat Malzeme Maliyeti Logaritmik Fark Endeksi (Construction Material Cost Logarithmic Difference Index)*

İnşaat malzeme maliyet logaritmik fark endeksi incelendiğinde toplam inşaat maliyet logaritmik fark endeksine göre daha düzensiz (random) halde olduğu anlaşılmaktadır. Endeks 2021 yılı sonunda olağan üstü bir yapısal kırılmaya maruz kalmıştır. Söz konusu zaman dilimi ile pandeminin yaşandığı süreç örtüşmemekte ve buna bağlı olarak inşaat malzeme maliyet yapısının pandemi ile ilişkisinin çok zayıf ya da hiç olmadığı düşüncesini ortaya çıkarmaktadır.



Şekil 10. *İnşaat İşçilik Maliyet Logaritmik Fark Endeksi (Construction Labor Cost Logarithmic Difference Index)*

İnşaat işçilik maliyet logaritmik fark endeksi incelendiğinde fiyat fark şoklarının düzenli aralıklarla gerçekleştiği ve bu farkların yıl sonlarına denk geldiği görülmektedir. İşçilik maliyet fark şoklarının pandemi döneminde de yaşandığı anlaşılmakta ancak diğer dönemlerde de benzer farkların varlığı sebebi ile pandemi ile inşaat işçilik maliyetleri arasındaki ilişkinin varlığını doğrudan ortaya konulamamaktadır.

Verilerin Analizi (Data Analysis)

Zaman Serisi Analizi-Vektör Otoregresyon (VAR) Modeli

Sims (1980) tarafından ortaya konan Vektör Otoregresyon-VAR modeli Granger nedensellik testi modelini temel alır [22,23]. Araştırmaya dahil edilen zaman serileri üzerinden birim kök ve otokorelasyon sorununu ortadan kaldırabilmek için zaman serilerinin logaritmik farkları alınmıştı. Ancak elde edilen logaritmik fark zaman serileri üzerinde de birim kök ve otokorelasyon problemlerinin olabileceği şüphesi daha önceki kısımda belirtilmiştir. Söz konusu şüphelerin ortada kaldırılması için zaman serileri üzerinde Genişletilmiş Dickey Fuller (ADF) birim kök testi yapılmıştır [32,33,34].

Birim kök kavramı zaman serisinde trend varlığından ortaya çıkan otoregresyon yapısıdır. Bu duruma göre t_{n-1} zamanındaki değişkenin t_n zamanındaki değişkeni etkilemesi olarak ta tanımlanır ve süreç çeşitli mertebeden otoregresif (AR(p)) süreçlerin hipotez testleri ile tespit edilir. Dickey Fuller birim kök testi için ilk olarak birinci mertebeden AR(1) modeli kurarak bağımsız değişkeni hipotez testine tabi tutmuşlardır ve bu durum formül (2)'de gösterilmiştir [25]:

$$\Delta y_t = \theta y_{t-1} + \varepsilon_t \qquad (2)$$

Ancak zaman serilerinde otoregresif süreçlerinin sadece birinci dereceden olmayıp farklı mertebelerden de gerçekleşebileceği bir gerçektir. Farklı mertebelerden AR (p) süreçlerinin de araştırılması için Dickey- Fuller birim kök testi modifiye edilmiştir [32-34]. Modifiye edilmiş bu yeni birim kök testi ise Genişletilmiş Dickey Fuller (ADF) şeklinde adlandırılmıştır. ADF birim kök testi DF birim kök testinde kullanılan modelin sağına bağımlı değişkenin gecikmeli değerlerin eklenmesi ile elde edilmektedir [25,35].

$$\Delta y_t = \theta y_{t-1} + \sum_{i=2}^{p} \beta \Delta y_{t-i+1} + \varepsilon_1 \qquad (3)$$

Araştırmaya dahil edilen zaman serilerinin birim kök araştırması ve sonuçları Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. *Pandemi ve Satış Fiyat Logaritmik Fark Endekslerinin Birim Kök Test Sonuçları*

Birim Kök Test Sonuçları (ADF)						
	Düzeyde					
		COVHAS	**COVOLU**	**FIYATINS**	**FIYATBINA**	**FIYATBİNA DIŞI**
Sabit	t-Statistic	-9.9093	-9.0054	-14.9595	-14.5087	-14.6065
	Prob.	***0.0000***	***0.0000***	***0.0001***	***0.0001***	***0.0001***
Sabit ve Trend	t-Statistic	-9.8919	-8.9823	-15.1023	-14.6239	-14.5497
	Prob.	***0.0000***	***0.0000***	***0.0000***	***0.0000***	***0.0000***
Trend	t-Statistic	-9.8408	-8.9429	-14.3544	-13.9886	-13.9862
	Prob.	***0.0000***	***0.0000***	***0.0000***	***0.0000***	***0.0000***
	Birinci Fark					
		d(COVHAS)	**d(COVOLU)**	**d(FIYATINS)**	**d(FIYATBINA)**	**d(FIYATBINA)**
Sabit	t-Statistic	-9.5385	-9.3064	-9.1768	-6.8890	-7.6598
	Prob.	***0.0000***	***0.0000***	***0.0000***	***0.0000***	***0.0000***
Sabit ve Trend	t-Statistic	-9.4867	-9.2559	-9.1428	-7.0303	-8.0248
	Prob.	***0.0000***	***0.0000***	***0.0000***	***0.0000***	***0.0000***
Trend	t-Statistic	-9.5908	-9.3573	-9.2159	-6.8716	-8.5147
	Prob.	***0.0000***	***0.0000***	***0.0000***	***0.0000***	***0.0000***

Daha önceki kısımda açıklandığı gibi logaritmik fark satış fiyat endeksleri üzerinde herhangi bir trend varlı gözlenmemiş ve bu zaman serilerinde birim kök sorununun olmayacağı tahmin edilmişti. Yapılan birim kök test sonucuna göre tahminlerin doğru olduğu anlaşılmış ve söz konusu zaman serilerinde birim kök varlığı tespit edilememiştir. Ancak logaritmik fark maliyet endekslerinde ise çeşitli trend yapılar gözlenmiş ve birim kök varlığı şüphesi ortaya konmuştu. Söz konusu zaman serileri üzerinde yapılan birim kök test sonuçları Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. *Maliyet Logaritmik Fark Endekslerinin Birim Kök Test Sonuçları*

Birim Kök Test Sonuçları (ADF)				
	Düzeyde			
		TOPMALINS	**MALZMALINSAAT**	**ISCILIKMALINS**
Sabit	t-Statistic	-0.7175	-4.2770	-0.0208
	Prob.	***0.8362***	***0.0008***	***0.9535***
Sabit ve Trend	t-Statistic	-1.8866	-4.8307	0.1679
	Prob.	***0.6530***	***0.0008***	***0.9975***
Trend	t-Statistic	-0.0438	-3.6891	0.3519
	Prob.	***0.6655***	***0.0003***	***0.7844***
	Birinci Fark			
		d(TOPMALINS)	**d(MALZMALINSAAT)**	**d(ISCILIKMALINS)**
Sabit	t-Statistic	-4.7653	-11.8628	-4.8177
	Prob.	***0.0002***	***0.0001***	***0.0001***
Sabit ve Trend	t-Statistic	-4.7899	-11.8104	-10.0578
	Prob.	***0.0010***	***0.0000***	***0.0000***
Trend	t-Statistic	-4.7322	-11.9243	-4.7913
	Prob.	***0.0000***	***0.0000***	***0.0000***

Maliyet logaritmik fark endeks grafikleri üzerinden birim kök varlığı şüphesi ADF birim kök testi ile gerçek bir sonuca dönüşmüş ve toplam inşaat maliyet ve inşaat işçilik zaman serileri düzeyde birim kök varlığına sahip olduğu anlaşılmıştır. Malzeme maliyet endeksinde ise birim kök yapısına rastlanmamıştır. Ancak araştırmaya dahil edilen tüm zaman serileri birinci farkları incelendiğinde zaman serileri durağanlaşmakta ve birim kök yapıları ortadan kalkmaktadır.

Zaman serileri üzerinden değişkenler arasındaki etkileşimi daha iyi yorumlamak adına VAR modeli temelinden yola çıkılarak oluşturulmuş nedensellik modeli Granger (1969) [30] tarafından ortaya atılmıştır. Granger tarafından oluşturulan modelde p kadarlık gecikme ile y ve z değişkenlerinden birinin diğerinin tahmini üzerinde faydalı bilgi üretip üretmediğini sorgulamaktadır. Dolayısı ile Granger nedensellik analizinin uygulanabilmesi için öncelikle VAR modelinin kurularak uygun gecikme (p) değerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Uygun gecikme değerlerinin tespitinde ise literatürde Akaike ve Schwarz bilgi kriterleri kullanılmaktadır [36-38]. Oluşturulan VAR modeli üzerinden elde edilen Akaike ve Schwarz bilgi kriter değerleri Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3. *Araştırmaya Ait Değişkenler Arasındaki En Gecikme Değeri (p)*

Lag	FPE	AIC	SC	HQ
0	0.454041	13.39981	13.53869	13.45582
1	0.170858*	12.42147*	13.25474*	12.75749*
2	0.234798	12.73421	14.26187	13.35026
3	0.298953	12.96282	15.18488	13.85889
4	0.328258	13.03164	15.94809	14.20773
5	0.386164	13.15325	16.76408	14.60935
6	0.440490	13.22270	17.52792	14.95882
7	0.565473	13.38280	18.38242	15.39894
8	0.756327	13.54877	19.24278	15.84493

Akaike ve Schwarz bilgi kriter değerlerine göre araştırmaya konu olana zaman serisi değişkenler arasındaki en uygun gecikme değeri 1 dönem olarak tespit edilmiştir.

GRANGER Nedensellik Analizi

Pandemi döneminin inşaat sektörü finansal yapısına etkisinin varlığını incelemek için yapılan nedensellik araştırması iki farklı bölümde ele alınmıştır. Birinci bölümde Covid-19 virüsüne bağlı olarak hasta olan ve ölen kişi sayısındaki değişim ile inşaat sektörü satış fiyatlarındaki değişim arasında nedensellik ilişkisi araştırılmıştır. İkinci bölümde ise pandemi değişkenleri ile inşaat sektörü maliyetlerindeki değişim nedensellik analizine dahil edilmiştir. Nedensellik analizinin birinci kısmı için

elde edilen sonuçlar Tablo 3'te gösterildiği gibidir.

Tablo 4. *Pandemi Değişkenleri ile İnşaat Sektörü Satış Fiyatları Arasındaki GCA Sonuçları*

Granger Causality Tests

2015M01 2023M05
Lags: 2

H_o Hipotezi	**Obs**	**F-Statistic**	**Prob.**
FIYATBINA Granger Nedeni Değildir COVHAS'ın	96	1.95054	0.1481
COVHAS Granger Nedeni Değildir FIYATBINA'ın		5.08273	0.0081
FIYATBINADIŞI Granger Nedeni Değildir COVHAS'ın	96	0.02127	0.9790
COVHAS Granger Nedeni Değildir FIYATBINADIŞI'ın		0.42792	0.6532
FIYATINS Granger Nedeni Değildir COVHAS'ın	96	1.27888	0.2833
COVHAS Granger Nedeni Değildir FIYATINS'ın		3.33042	0.0402
FIYATBINA Granger Nedeni Değildir COVOLU'ın	96	1.89812	0.1557
COVOLU Granger Nedeni Değildir FIYATBINA'ın		4.94872	0.0091
FIYATBINADIŞI Granger Nedeni Değildir COVOLU'ın	96	0.02679	0.9736
COVOLU Granger Nedeni Değildir FIYATBINADIŞI'ın		0.46284	0.6310
FIYATINS Granger Nedeni Değildir COVOLU'ın	96	1.28942	0.2804
COVOLU Granger Nedeni Değildir FIYATINS'ın		3.54324	0.0330

Yapılan nedensellik analizine bağlı olarak; pandemiye bağlı hastalanan ve ölen kişi sayılarında yaşanan değişim ise inşaat sektörü satış fiyat değişimlerinin bir kısmı için nedensellik hipotezini doğrulamaktadır. Tablo 4 incelendiğinde pandemiye bağlı hastalanan ve ölen kişi sayılarındaki değişim, genel inşaat sektörü satış fiyatı değişimi ve bina inşaat satış fiyat değişiminin Granger nedeni değildir hipotezinin reddedildiği görülmektedir (Prob<0,05). Ancak pandemiye bağlı hastalanan ve ölen kişi sayılarındaki değişim, bina dışı inşaat sektörü satış fiyatı değişiminin Granger nedeni değildir hipotezi kabul edilmektedir (Prob>0,05). Elde edilen bu sonuçlara göre Covid-19 pandemisi inşaat sektörü bina fiyatlarını ekilerken bina dışı inşaat fiyatlarını etkilememiştir.

Nedensellik araştırmasının ikinci kısmında ise pandemi değişkenleri ile inşaat sektörü maliyet değişkenleri incelenmiş ve sonuçları Tablo 5, 6 ve 7'de gösterilmiştir.

Tablo 5. *Pandemi Değişkenleri ile İnşaat Sektörü Toplam Maliyet Arasındaki GCA Sonuçları*

Granger Causality Tests

2015M01 2023M05
Lags: 2

H_o Hipotezi	**Obs**	**F-Statistic**	**Prob.**
TOPMALINS Granger Nedeni Değildir COVHAS'ın	96	1.03417	0.3597
COVHAS Granger Nedeni Değildir TOPMALINS'ın		0.09143	0.9127
TOPMALINS Granger Nedeni Değildir COVOLU'ın	96	1.03054	0.3609
COVOLU Granger Nedeni Değildir TOPMALINS'ın		0.01992	0.9803

Tablo 5 incelendiğinde Covid-19 pandemisine bağlı hastalanan ve ölen kişi sayısındaki değişim ile inşaat sektörü toplam maliyet değişimi arasında Granger nedensellik ilişkisi yoktur hipotezi kabul edilmektedir (Prob>0,05). Bu sonuca bağlı olarak analize konu değişkenler arasında hiçbir nedensellik ilişkisinin bulunmadığı anlaşılmakta ve inşaat sektörü toplam maliyetleri pandemiden etkilenmemiştir önermesi kabul edilmelidir.

Tablo 6. *Pandemi Değişkenleri ile İnşaat Sektörü Malzeme Maliyet Arasındaki GCA Sonuçları*

Granger Causality Tests

2015M01 2023M05
Lags: 2

H_0 Hipotezi	**Obs**	**F-Statistic**	**Prob.**
ISCILIKMALINS Granger Nedeni Değildir COVHAS'ın	96	0.81207	0.4471
COVHAS Granger Nedeni Değildir ISCILIKMALINS'ın		0.06590	0.9363
ISCILIKMALINS Granger Nedeni Değildir COVOLU'ın	96	0.78299	0.4601
COVOLU Granger Nedeni Değildir ISCILIKMALINS'ın		0.07563	0.9272

Tablo 6' da elde edilen sonuçlara göre Covid-19 pandemisine bağlı hastalanan ve ölen kişi sayısındaki değişim ile inşaat sektörü malzeme maliyeti değişimi arasında Granger nedensellik ilişkisi yoktur hipotezi kabul edilmektedir (Prob>0,05). Yapılan bu tespite bağlı olarak pandeminin inşaat sektörü malzeme maliyetleri değişimine bir etkisi olmamıştır önermesi kabul edilmelidir.

Tablo 7. *Pandemi Değişkenleri ile İnşaat Sektörü İşçilik Maliyet Arasındaki GCA Sonuçları*

Granger Causality Tests

2015M01 2023M05
Lags: 2

H_0 Hipotezi	**Obs**	**F-Statistic**	**Prob.**
MALZMALINSAAT does not Granger Cause COVHAS	96	0.13350	0.8752
COVHAS does not Granger Cause MALZMALINSAAT		0.10088	0.9041
MALZMALINSAAT does not Granger Cause COVOLU	96	0.15979	0.8526
COVOLU does not Granger Cause MALZMALINSAAT		0.05990	0.9419

Tablo 7'de elde edilen sonuçlara göre Covid-19 pandemisine bağlı hastalanan ve ölen kişi sayısındaki değişim ile inşaat sektörü işçilik maliyeti değişimi arasında Granger nedensellik ilişkisi yoktur hipotezi kabul edilmektedir (Prob>0,05). Yapılan bu tespite bağlı olarak pandeminin inşaat sektörü işçilik maliyetleri değişimine bir etkisi olmamıştır önermesi kabul edilmelidir. Araştırmanın en sıra dışı bulgusu pandemi süreci işçilik maliyetlerini etkilememiş olmasıdır. Pandemi sürecine bağlı olarak işçilik arzında yaşanan daralmanın işçilik maliyetlerini yükseltmesi gerekirken, pandemi sürecinin işçilik maliyetlerine bir etkisi olmamıştır.

SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Yapılan bu araştırmada 2020 yılında başlayan Covid-19 virüsüne bağlı pandeminin inşaat sektörü finansal yapısına olan etkisi incelenmiştir. Araştırmanın veri seti pandemi öncesi ve sonrasını kapsayacak şekilde 2015 ile 2023 yılları aylık verilerinden oluşturulmuştur. Seçilen dönemin bu şekilde seçilmesi ile pandemi öncesi ve sonrası zaman dilimlerindeki yapısal değişimin tutarlılığının analize dahil edilmek istenmesidir. İnşaat sektörü fiyat verileri TÜİK tarafından hazırlanan mevsimsel etkilerden arındırılmış 2015 yılı başlangıç değeri 100 olan endekslerdir. Elde edilen bu endeksler üzerinden mevsimsel etkiler arındırılmış olsa da hala araştırmayı yanıltacak enflasyon etkisini üzerinde barındırmaktadır. Endeksler üzerinde enflasyon etkisini gidermek için TÜİK tarafından hesaplanan ÜFE endeksi kullanılmıştır. Enflasyon ve mevsimsel etkilerden arındırılmış inşaat sektörü finansal verileri incelendiğinde trend yapısına sahip oldukları anlaşılmış ve bu yapının zaman serisi üzerinde otokorelasyon ve birim kök sorunları oluşturacağı öngörülmüştür. Zaman serilerindeki birim kök ve otokorelasyon sorununu ortadan kaldırmak için zaman serileri üzerinde logaritmik fark işlemi uygulanarak inşaat sektörü finansal fark verilerinden oluşan yeni zaman serileri oluşturulmuştur. Oluşturulan yeni zaman serileri üzerinde yapılan birim kök testlerinde özellikle maliyet zaman serileri düzeyde birim kök sorunu olduğu anlaşılmış, fakat zaman serilerinin birinci farkları alındığında tüm zaman serileri durağan hale gelmiştir. Zaman serilerinin birinci farkları alınarak durağan hale getirilmelerinden dolayı VAR tabanlı Granger Nedensellik Analizi

uygulaması tercih edilmiştir.

Yapılan nedensellik analizleri sonucunda Covid-19 pandemisine bağlı hastalanan ve ölen kişi sayılarındaki değişim genel inşaat satış fiyatlarının ve bina satış fiyatlarının değişimlerine etki etmiştir. Ancak pandemiye bağlı hastalanan ve ölen kişi sayılarındaki değişim bina dışı inşaat fiyatlarının değişimine etki etmemiştir. Bu durumun nedeni; iskân dışı inşaat faaliyetlerinin planlaması oldukça uzun süreçlerde yapıldığı ve kontratların çok önceden hazırlandığı için pandemi süreci bina dışı inşaat fiyatlarına etki etmediği düşünülmektedir.

İnşaat maliyet kalemleri üzerinde yapılan nedensellik analizlerinde ise pandemi değişkenleri ve inşaat maliyet kalemleri arasında herhangi bir nedensellik ilişkisine rastlanılmamıştır. Buna bağlı olarak inşaat sektöründe pandemi inşaat maliyetlerini etkilemezken satış fiyatlarını etkilemiştir. Elde edilen sonuca bağlı olarak pandemi sürecinde inşaat sektörü arzdan kaynaklanan bir sorun yaşamazken, talepten kaynaklanan sorunlarla karşı karşıya kalmıştır.

KAYNAKÇA (REFERENCES)

[1] T. Alkan, S. S. Durduran, Konut Seçimi Sürecinin AHP Temelli TOPSIS Yöntemi ile Analizi. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 2(2) (2020), 12-21.

[2] G. Yılmaz, Covid-19 Salgının Dünya ve Türkiye Ekonomisine Etkileri ve 2008 Krizi ile Mukayesesi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi.,* 4(2) (2022), 132-143.

[3] T.C. Sağlık Bakanlığı, Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü, Covid-19 (SARS CoV-2 Enfeksiyonu) Genel Bilgiler, Epidemiyoloji ve Tanı, https://covid19bilgi.saglik.gov.tr/Eklenti/38597/0/covid19rehberigenelbilgilerepidemiyolojivetanipdf.pdf, (Erişim Tarihi: 15.09.2020).

[4] BBC (2020). Koronavirüs nedir: COVID-19 'a karşı hangi önlemler alınmalı, virüsün özellikleri neler? https://www.bbc.com/turkce/haberler-dunya-51177538 (Erişim tarihi: 07.07.2020)

[5] World Health Organization, WHO. (2020, 12 05). https://www.who.int/news/item/27-04-2020-who-timeline---covid-19. (Erişim Tarihi: 09.09.2020)

[6] World Health Organization, Advice on the use of masks in the context of COVID-19, 5 June2020: https://www.who.int/publications/i/item/advice-on-the-use-of-masks-in-the-communityduring-home-care-and-in-healthcare-settings-in-the-context-of-the-novel-coronavirus-(2019-ncov)-outbreak (Erişim Tarihi: 09.09.2020)

[7] World Health Organization, Transmission of SARS-CoV-2: implications for infection prevention precautions, 9 July 2020: https://www.who.int/publications/i/item/modes-oftransmission- of-virus-causing-covid-19-implications-for-ipc-precaution-recommendations (Erişim Tarihi: 09.09.2020)

[8] M. Bolat, K.U.N.İ Filiz, B. Kurban, Y. A. Bingöl, Qualitative Study: Investigating the Decline in the Number of Application Cases in Maternity Campus during the COVID-19 Pandemic. *The Universal Academic Research Journal*. 4(2) (2022), 59-63. doi:10.55236/tuara.888749

[9] IMSAD, 2020. Türkiye ˙IMSAD Yapı Sektörü Raporu 2020, Turkey IMSAD Monthly Industry Report. Association of Turkish Construction Material Producers. ISBN: 978-605-81691-5-9, Temmuz 2021.https://imsad.org/dflip/Uploads/Files/Yapi_Sektoru_Raporu_2020_web.pdf.

[10] IMSAD, 2019. Türkiye ˙IMSAD Yapı Sektörü Raporu 2019, Turkey IMSAD Monthly Industry Report. Association of Turkish Construction Material Producers. ISBN: 978-605-81691-4-2, Temmuz 2020.https://imsad.org/dflip/Uploads/Files/Yapi_Sektoru_Raporu_2019_web.pdf.

[11] IMSAD, 2021. Türkiye ˙IMSAD Yapı Sektörü Raporu 2021, Turkey IMSAD Monthly Industry Report. Association of Turkish Construction Material Producers. ISBN: 978-605-81691-6-6, Temmuz 2022.https://imsad.org/dflip/Uploads/Files/Yapi_Sektoru_Raporu_2021_web.pdf.

[12] IMSAD, 2022. Türkiye ˙IMSAD Yapı Sektörü Raporu 2022, Turkey IMSAD Monthly Industry Report. Association of Turkish Construction Material Producers. ISBN: 978-605-81691-9-7, Temmuz 2023.https://imsad.org/dflip/Uploads/Files/Yapi_Sektoru_Raporu_2022_web.pdf.

[13] Z. Demir, Covid-19'un Bist 100'dekİ Şirketlerin Mali Tablolari Üzerindeki Etkisinin Oran Yöntemi ile Analizi. *Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*. 13(2) (2020), 439-465.

[14] S. Yücel, İ. Durak, COVID-19'un BIST İmalat Sektörü Firmalarına Olan Finansal Etkilerinin Finansal Oranlar ve İstatistiksel Tekniklerle İncelenmesi. *Muhasebe ve Finansman Dergisi*. 90 (2021), 101-126. doi: 10.25095/mufad.813411

[15] M. Kılıç, COVID-19'un Ulaştırma ve Turizm İşletmelerinin Finansal Performansına Etkisi: Borsa İstanbul'da (BİST) Bir Uygulama. *Muhasebe ve Denetime Bakış*. 21(65) (2022), 65-88.

[16] H. Tanrıvermiş, Possible impacts of COVID-19 outbreak on real estate sector and possible changes to adopt: A situation analysis and general assessment on Turkish Perspective. *Journal of Urban Management*. 9(3) (2020), 263-269.

[17] H. Aladağ, G. Demirdöğen, Z. Işık, Mücbir Sebep Faktörü Olarak COVID-19 Salgınının İnşaat Projelerinde Oluşturduğu Uyuşmazlık Etmenleri ve Etkilerinin İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Dergisi*. 36(3) (2021), 1213-1228. doi:10.17341/gazimmfd.784968

[18] T. Gönen, E. Çetinkaya, Covid-19 Salgınının Konut Tercihlerine Etkisi. *Kent ve Çevre Araştırmaları Dergisi*, 3(2) (2021), 25-33.

[19] D. Usanmaz, COVID-19 Pandemi Sürecinin Türkiye'de Konut Sektörü Üzerine Etkileri. *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi SBE Dergisi*. 11(3) (2021), 1352-1365. doi: 10.30783/nevsosbilen.983406

[20] T. Derya, A. Akpınar, E. Baran, COVID-19 Sürecinde İnşaat Sektöründeki İşletmelerin Finansal Durum Analizi. World of Accounting Science. *Muhasebe Bilim Dünyası Dergisi*. 24.COVID-19 Özel Sayısı (2022),128-149.

[21] 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.

[22] C.A. Sims, Money, income, and causality. *The American Economic Review*. 62(4) (1972), 540-552.

[23] C.A. Sims, Macroeconomics and reality. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*. (1980), 1-48,

[24] G. S. Maddala, I.M. Kim, Unit roots, cointegration, and structural change, Cambridge, U.K, *Cambridge University Press.* 1998 ISBN: 0-521-58257-1

[25] N. Çil Yavuz, Finansal ekonometri*, Der Yayınları*, İstanbul, 2015.

[26] C.W. Granger, Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross-spectral Methods. *Econometrica*, 3 (1969), 424–438,

[27] 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.

[28] T.C. Sağlık Bakanlığı, COVID-19 Bilgilendirme Platformu, https://covid19.saglik.gov.tr/TR-66935/genel-koronavirus-tablosu.html(Erişim Tarihi: 15.09.2020).

[29] Türkiye İstatistik Kurumu, TÜİK, https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=insaat-ve-konut-116&dil=1 (Erişim Tarihi: 15.06.2023).

[30] C.W. Granger, Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross-spectral Methods. *Econometrica*. 37(3) (1969), 424–438.

[31] P. Newbold, C. W. Granger, Experience with Forecasting Univariate Time Series and the Combination of Forecasts. *Journal of the Royal Statistical Society.* 197(2) (1974), 131-165.

[32] A. D. Dickey, A.W. Fuller, Distribution of The Estimators For Autoregressive Time Series With a Unit Root. *Journal of American Statistical Associatian*. 74(366a) (1979), 427-431.

[33] A.D. Dickey, A.W. Fuller, Likelihood Ratio Statistics For Autoregressive Time Series With A Unit Root. *Econometrica*. 49(4) (1981), 1057-1072.

[34] M. Yılmaz, Doğum Oranı ve Doğuşta Beklenen Yaşam Süresi - Ekonomik Büyüme İlişkisi: Türkiye İçin Ampirik Bir Analiz. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi*. 5 (1) (2023), 93-102.

[35] H. Lütkepohl, M. Krätzig, M. (Eds.). Applied time series econometrics. *Cambridge University Press*, 2004.

[36] K.D. Patterson, An introduction to applied econometrics: a time series approach (Vol. 1). *New York: Palgrave, Springer*, 2000.

[37] H. Akaikc, Information theory and an extension of the maximum likelihood principle', B. N. Petrov, F. Csaki (Deri.) içinde, Second International Symposium on Information Theory, Budapeşte: Academiai Kiado, 1973, 267-281

[38] G. Schwarz, Estimating the dimension of a model, *Annals of Statistics*. 6 (1978), 461-464.

Necmettin Erbakan Üniversitesi
Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi
Journal of Science and Engineering (NEJSE)
DOI: 10.47112/neufmbd.2023.18

Cilt: 5 Sayı:2 Yıl: 2023 | Araştırma Makelesi / Research Article | E-ISSN: 2667- 7989

Yeni Bir Esnek Küme İşlemi: Esnek İkili Parçalı Simetrik Fark İşlemi

Aslıhan SEZGİN [1] **Eda YAVUZ** [2]

[1] Amasya University, Faculty of Education, Department of Mathematics and Science Education, Amasya, Türkiye, aslihan.sezgin@amasya.edu.tr *(Sorumlu Yazar/ Corresponding Author)*

[2] Amasya University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Mathematics, Amasya, Türkiye, yavuz.eda99@gmail.com

Makale Bilgileri

Makale Geçmişi
Geliş: 21.08.2023
Kabul: 21.09.2023
Yayın: 31.12.2023

Anahtar Kelimeler:
Esnek Kümeler,
Esnek Küme İşlemleri,
Boole Halkası,
Hemiring.

ÖZ

Molodtsov tarafından geliştirilen esnek küme teorisi hem teorik hem de pratik olarak birçok alanda uygulanmıştır. Belirsizliği ele almak için yararlı bir matematiksel araçtır. Ortaya atıldığından bu yana çok sayıda esnek küme işlemi varyasyonu tanımlanmış ve kullanılmıştır. Bu çalışmada, esnek ikili parçalı simetrik fark işlemi adı verilen yeni bir esnek küme işlemi tanımlanıp, özellikleri klasik küme teorisinde var olan simetrik fark işleminin temel cebirsel özellikleri ile karşılaştırmalı olarak ele alınmış ve incelenmiştir. Ayrıca, esnek ikili parçalı simetrik fark işlemi ve kısıtlanmış kesisim işlemleri ile birlikte sabit parametreye sahip tüm esnek kümelerin oluşturduğu cebirsel yapının, birimli ve değişmeli bir hemiring ve ayrıca Boole halkası olduğu gösterilmiştir.

A New Soft Set Operation: Soft Binary Piecewise Symmetric Difference Operation

Article Info

Article History
Received: 21.08.2023
Accepted: 21.09.2023
Published: 31.12.2023

Keywords:
Soft Sets,
Soft Set Operations,
Boolean Rings,
Hemirings.

ABSTRACT

The soft set theory developed by Molodtsov has been applied both theoretically and practically in many fields. It is a useful piece of mathematics for handling uncertainty. Numerous variations of soft set operations have been described and used since its introduction. In this paper, a new soft set operation, called soft binary piecewise symmetric difference operation, is defined, its properties are considered and examined comparatively with the basic algebraic properties of symmetric difference operation existing in classical set theory. Moreover, we prove that the set of all the soft sets with a fixed parameter set together with the soft binary piecewise symmetric difference operation and the restricted intersection operation is a commutative hemiring with identity and also Boolean ring.

Atıf/Citation: Sezgin, A. & Yavuz, E. (2023). A new soft set operation: Soft binary piecewise symmetric difference operation, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*, 5(2), 189-208. https://doi.org/10.47112/neufmbd.2023.18

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

INTRODUCTION

Due to the existence of some types of uncertainty, we are unable to effectively employ traditional ways to address issues in many domains, including engineering, environmental and health sciences, and economics. Molodtsov [1], in 1999, proposed Soft Set Theory as a mathematical method to deal with these uncertainties. Since then, this theory has been applied to a variety of fields, including information systems, decision-making, optimization theory, game theory, operations research, measurement theory, and some algebraic structures. The initial contributions to soft set operations were states by Maji et al. [2] and Pei and Miao [3]. Following this, Ali et al. [4] introduced and discussed several soft set operations, including restricted and extended soft set operations. Sezgin and Atagün [5] discussed the basic properties of soft set operations together with their interconnections. They also investigated and defined the idea of restricted symmetric difference of soft sets. A brand-new soft set operation called “extended difference of soft sets” was presented by Sezgin et al. [6]. Stojanovic [7] introduced the concept of "extended symmetric difference of soft sets" and its basic properties were investigated. Two main categories into which the operations of soft set theory fall, according to the research, are restricted soft set operations and extended soft set operations. Eren [8] created a brand-new class of soft difference operations, which we call as soft binary piecewise difference, and they also carefully analyzed the core characteristics of the operation. Other soft binary piecewise operations were defined Yavuz [9], who also carefully analyzed their core characteristics. Since the operations of soft sets are the fundamental concepts of soft set theory, soft set operations have been extensively studied since 2003. For more details, we refer to [10-28].

Semirings were initially described by Vandiver [29] in 1934 and consist of a set R together with the two associative binary operations addition "+" and multiplication "." such that distributes over "+" from both sides. Different researchers, including [30,31], have given a variety of theories and findings regarding semirings and some researchers have explored semirings with additive inverse [32-35]. Semirings have received extensive study more recently, particularly in respect to applications (see [36]). Semirings are very crucial in geometry, nonetheless, they are crucial for solving issues in a variety of applications of practical mathematics and information sciences, as well as being significant in pure mathematics. [37-42]. By a hemiring, we mean a special semiring with a zero and a commutative addition. In theoretical computer science, hemirings, are also crucial. Hemirings occurs naturally in several applications to the theory of formal languages, computer sciences and automata [42].

This paper contributes to the literature on soft set theory by describing a novel soft set operation, which we call "soft binary piecewise symmetric difference operation". This paper is arranged in the following manner. In Section 2, we recall preliminary concepts in soft set theory together with semirings and hemirings. In Section 3, definition and an example of soft binary piecewise symmetric difference operation are given and the full analysis of the algebraic properties of this new operation are handled comparatively with symmetric difference operation existing in classical set theory and we obtain very remarkable analogies. In the same section, it is proved that the set of all the soft sets with a fixed parameter set together with the soft binary piecewise symmetric difference operation and the soft restricted intersection operation is a commutative hemiring with identity and also Boolean ring. In the conclusion section, we put into focus the meaning of the study's findings and its potential influence on the field.

PRELIMINARIES

Definition 1. [1] Let U be the universal set, E be the parameter set, P(U) be the power set of U and $A \subseteq E$. A pair (F, A) is called a soft set over U where F is a set-valued function such that $F: A \to P(U)$.

Throughout this paper, the set of all the soft sets over U is designated by $S_E(U)$. Let A be a fixed subset of E and $S_A(U)$ be the collection of all soft sets over U with the fixed parameter set A. Clearly $S_A(U)$ is a subset of $S_E(U)$. From now on, while soft set will be designated by SS and parameter set by PS; soft sets will be designated by SSs and parameter sets by PSs for the sake of ease.

Definition 2. [4] (K, W) is called a relative null SS (with regard to W), denoted by $\emptyset_W$, if $K(\omega) = \emptyset$ for all $\omega \in W$ and (K, W) is called a relative whole SS (with regard to W), denoted by U_W if $K(\omega) = U$ for all

$\omega \in W$. The relative whole SS U_E with regard to E is called the absolute SS over U. We shall denote by $\emptyset_\emptyset$ the unique soft set over U with an empty parameter set, which is called the empty soft set over U. Note that by $\emptyset_\emptyset$ and by $\emptyset_A$ are different soft sets over U [17].

Definition 3. [3] For two SSs (K, W) and $(T, Ş)$, (K, W) is a soft subset of $(T, Ş)$ and it is denoted by $(K, W) \tilde{\subseteq} (T, Ş)$, if $W \subseteq Ş$ and $K(\omega) \subseteq T(\omega)$, $\forall\, \omega \in W$. Two SSs (K, W) and $(T, Ş)$ are said to be soft equal if (K, W) is a soft subset of $(T, Ş)$ and $(T, Ş)$ is a soft subset of (K, W).

Definition 4. [4] The relative complement of a SS (K, W), denoted by $(K, W)^r$, is defined by $(K, W)^r = (K^r, W)$, where $K^r: W \to P(U)$ is a mapping given by $(K, W)^r = U \backslash W(\omega)$ for all $\omega \in W$. From now on, $U \backslash K(\omega) = [K(\omega)]'$ will be designated by $K'(\omega)$ for the sake of ease.

SS operations can be grouped into the following categories as a summary: If " Θ " is used to denote the set operations (Namely, Θ here can be $\cap, \cup, \backslash, \Delta$), then the following soft set operations are defined as following:

Definition 5. [4,5] Let (K, W) and $(T, Ş)$ be SSs over U. The restricted Θ operation of (K, W) and $(T, Ş)$ is the SS (S, X), denoted by $(K, W)\Theta_R(T, Ş) = (B, X)$, where $X = W \cap Ş \neq \emptyset$ and $\forall \omega \in X$, $B(\omega) = K(\omega)\ \Theta\ T(\omega)$. Here note that if $W \cap Ş = \emptyset$, then $(K, W)\Theta_R(T, Ş) = \emptyset_\emptyset$ [17].

Definition 6. [3,4,6,7] Let (K, W) and $(T, Ş)$ be SSs over U. The extended Θ operation of (K, W) and $(T, Ş)$ is the SS (B, X), denoted by $(K, W)\Theta_\varepsilon(T, Ş) = (B, X)$, where $X = W \cup Ş$ and $\forall \omega \in X$

$$B(\omega) = \begin{cases} K(\omega), & \omega \in W \backslash Ş, \\ T(\omega), & \omega \in Ş \backslash W, \\ K(\omega)\ \Theta T(\omega), & \omega \in W \cap Ş. \end{cases}$$

Definition 7. [8,9] Let (K, W) and $(T, Ş)$ be SSs over U. The soft binary piecewise Θ operation of (K, W) and $(T, Ş)$ is the SS (B, W), denoted by, $(K, W)\tilde{\Theta}\ (T, Ş) = (B, W)$, where $\forall \omega \in W$,

$$B(\omega) = \begin{cases} K(\omega), & \omega \in W \backslash Ş \\ K(\omega)\ \Theta\ T\omega), & \omega \in W \cap Ş \end{cases}$$

In mathematics, a semiring is used in abstract algebra to describe an algebraic structure which is more general than ring. A semiring $(R, +, \cdot)$ is an algebraic structure consisting of a non-empty set R together with two binary operations usually called addition and multiplication such that $(R, +)$ is a semigroup, $(R, \cdot)$ is a semigroup and multiplication is distributive over addition from both sides. If a semiring has identity with multiplication, then it is called semiring with identity and if it has commutative multiplication, then it is called a commutative semiring. If there exists an element $0 \in R$ such that $0 \cdot a = a \cdot 0 = 0$ and $0 + a = a + 0 = a$ for all $a \in R$, then 0 is called the zero of R. A semiring with commutative addition and zero element is called a hemiring. For more about semirings and hemirings, we refer to [29-42].

MAIN RESULTS

Definition 8. Let $(\mathfrak{H}, Ƶ)$ and $(\mathfrak{V}, Ş)$ be SSs over U. The soft binary piecewise symmetric difference (Δ) operation of $(\mathfrak{H}, Ƶ)$ and $(\mathfrak{V}, Ş)$ is the SS $(\aleph, Ƶ)$, denoted by, $(\mathfrak{H}, Ƶ)\tilde{\Delta}(\mathfrak{V}, Ş) = (\aleph, Ƶ)$, where $\forall \omega \in Ƶ$,

$$\aleph(\omega) = \begin{cases} \mathfrak{M}(\omega), & \omega \in Ƶ \backslash Ş \\ \mathfrak{M}(\omega)\ \Delta \mathfrak{V}(\omega), & \omega \in Ƶ \cap Ş \end{cases}$$

Here note that, in [5], Sezgin and Atagün used "$\tilde{\Delta}$" for restricted symmetric difference; however, we prefer to use "Δ_R" for the restricted symmetric difference. Thus, in what follows, $\tilde{\Delta}$ will be used for the soft

binary piecewise symmetric difference, not for restricted symmetric difference.

Example 9. Let $E=\{e_1,e_2,e_3,e_4\}$ be the PS, $Ƶ=\{e_1, e_3\}$ and $Ş=\{e_2, e_3, e_4\}$ be the subsets of E and $U=\{h_1,h_2,h_3,h_4,h_5\}$ be universe set. Let $(ɱ,Ƶ)$ and $(ʊ,Ş)$ be SSs over U defined as following

$(ɱ,Ƶ)=\{(e_1, \{h_2, h_5\}), (e_3,\{h_1,h_2,h_5\})\}$

$(ʊ,Ş)=\{(e_2,\{h_1,h_4,h_5\}), (e_3,\{h_2,h_3,h_4\}),(e_4,\{h_3,h_5\}\})$.

Let $(ɱ,Ƶ)$ $\tilde{\Delta}$ $(ʊ,Ş)=(ϰ,Ƶ)$. Then,

$$ϰ(\omega)=\begin{cases} ɱ(\omega), & \omega\in Ƶ\setminus Ş \\ ɱ(\omega)\,\Delta ʊ(\omega), & \omega\in Ƶ\cap Ş \end{cases}$$

Since $Ƶ=\{e_1, e_3\}$ and $Ƶ\setminus Ş=\{e_1\}$, so $ϰ(e_1)=ɱ(e_1)=\{h_2, h_5\}$. And since $Ƶ\cap Ş=\{e_3\}$ so $ϰ(e_3)=ɱ(e_3)\,\Delta ʊ(e_3)=\{h_1, h_3, h_4,h_5\}$. Thus, $(ϰ,Ƶ)= (ɱ, Ƶ)$ $\tilde{\Delta}$ $(ʊ,Ş)=\{ (e_1,\{h_2,h_5\}), (e_3, \{h_1, h_3, h_4,h_5\})\}$.

The set of elements that are in either sets but not their intersection is known as the symmetric difference of two sets in classical theory. Namely, $Ƶ\Delta Ş=(Ƶ\cup Ş)\setminus(Ƶ\cap Ş)$. Now, we have:

Theorem 10. $(ɱ, Ƶ)$ $\tilde{\Delta}$ $(ʊ,Ş)]$ $=[(ɱ,Ƶ)$ $\tilde{\cup}$ $(ʊ, Ş)]$ $\tilde{\setminus}[(ɱ,Ƶ)$ $\cap_R$ $(ʊ, Ş)]$.

Proof: Since the PS of the SSs of both hand side is Ƶ, the first condition for the soft equality is satisfied. Now let $(ɱ, Ƶ)$ $\tilde{\cup}(ʊ,Ş)=(ϰ,Ƶ)$ where $\forall\omega\in Ƶ$;

$$ϰ(\omega)=\begin{cases} ɱ(\omega), & \omega\in Ƶ\setminus Ş \\ ɱ(\omega)\cup ʊ(\omega)\,, & \omega\in Ƶ\cap Ş \end{cases}$$

Let $(ɱ, Ƶ)$ $\cap_R(ʊ,Ş)=(M,Ƶ\cap Ş)$, where $\forall\omega\in Ƶ\cap Ş$; $M(\omega)=ɱ(\omega)\cap ʊ(\omega)$. Let $(ϰ,Ƶ)\tilde{\setminus}$ $(M,Ƶ\cap Ş)=(S,Ƶ)$, where for $\forall\omega\in Ƶ$

$$S(\omega)=\begin{cases} ϰ(\omega), & \omega\in Ƶ\setminus(Ƶ\cap Ş)=Ƶ\setminus Ş \\ ϰ(\omega)\setminus M(\omega), & \omega\in Ƶ\cap(Ƶ\cap Ş)=Ƶ\cap Ş \end{cases}$$

Thus,

$$S(\omega)=\begin{cases} ɱ(\omega), & \omega\in(Ƶ\setminus Ş)\setminus Ş=Ƶ\setminus Ş \\ ɱ(\omega)\cup ʊ(\omega)\,, & \omega\in(Ƶ\cap Ş)\setminus Ş=\emptyset \\ ɱ(\omega)\setminus(ɱ(\omega)\cap ʊ(\omega)), & \omega\in(Ƶ\setminus Ş)\cap Ş=\emptyset \\ [ɱ(\omega)\cup ʊ(\omega)]\setminus(ɱ(\omega)\cap ʊ(\omega)), & \omega\in(Ƶ\cap Ş)\cap Ş=Ƶ\cap Ş \end{cases}$$

Thus,

$$S(\omega)=\begin{cases} ɱ(\omega), & \omega\in Ƶ\setminus Ş \\ [ɱ(\omega)\cup ʊ(\omega)]\setminus(ɱ(\omega)\cap ʊ(\omega)), & \omega\in Ƶ\cap Ş \end{cases}$$

Hence,

$$\begin{cases} ɱ(\omega), & \omega\in Ƶ\setminus Ş \end{cases}$$

$S(\omega)=$

$$\mu(\omega)\ \Delta\upsilon(\omega), \qquad \omega\in Z\cap Ş$$

Thus, $(S,Z)=(\mu,Z)\ \tilde{\Delta}\ (\upsilon,Ş)$.

In classical theory, $Z\ \Delta Ş=(Z\backslash Ş)\cup(Ş\backslash Z)$. Now, we have:

Theorem 11. $(\mu,Z)\ \tilde{\Delta}\ (\upsilon,Ş)=[(\mu,Z)\ \tilde{\backslash}(\upsilon,Ş)]\ \tilde{\cup}[(\upsilon,Ş)\tilde{\backslash}(\mu,Z)]$.

Proof: Since the PS of the SSs of both hand side is Z, the first condition for the soft equality is satisfied. Now let $(\mu,Z)\ \tilde{\backslash}(\upsilon,Ş)=(\aleph,Z)$ where $\forall\omega\in Z$;

$$\aleph(\omega)=\begin{cases}\mu(\omega), & \omega\in Z\backslash Ş\\ \mu(\omega)\backslash\upsilon(\omega), & \omega\in Z\cap Ş\end{cases}$$

Let $(\upsilon,Ş)\ \tilde{\backslash}(\mu,Z)=(K,Ş)$ where $\forall\omega\in Z$;

$$K(\omega)=\begin{cases}\upsilon(\omega), & \omega\in Ş\backslash Z\\ \upsilon(\omega)\backslash\mu(\omega), & \omega\in Ş\cap Z\end{cases}$$

Let $(\aleph,Z)\tilde{\cup}\ (K,Ş)=(S,Z)$, where for $\forall\omega\in Z$;

$$S(\omega)=\begin{cases}\aleph(\omega), & \omega\in Z\backslash Ş\\ \aleph(\omega)\cup K(\omega), & \omega\in Z\cap Ş\end{cases}$$

Hence,

$$S(\omega)=\begin{cases}\mu(\omega), & \omega\in(Z\backslash Ş)\backslash Ş=Z\backslash Ş\\ \mu(\omega)\backslash\upsilon(\omega), & \omega\in(Z\cap Ş)\backslash Ş=\emptyset\\ \mu(\omega)\cup\upsilon(\omega), & \omega\in(Z\backslash Ş)\cap(Ş\backslash Z)=\emptyset\\ \mu(\omega)\cup(\upsilon(\omega)\backslash\mu(\omega)), & \omega\in(Z\backslash Ş)\cap(Ş\cap Z)=\emptyset\\ (\mu(\omega)\backslash\upsilon(\omega))\cup\upsilon(\omega), & \omega\in(Z\cap Ş)\cap(Ş\backslash Z)=\emptyset\\ [\mu(\omega)\backslash\upsilon(\omega)]\cup[\upsilon(\omega)\backslash\mu(\omega)], & \omega\in(Z\cap Ş)\cap(Ş\cap Z)=Z\cap Ş\end{cases}$$

Thus,

$$S(\omega)=\begin{cases}\mu(\omega), & \omega\in Z\backslash Ş\\ [\mu(\omega)\backslash\upsilon(\omega)]\cup[\upsilon(\omega)\backslash\mu(\omega)], & \omega\in Z\cap Ş\end{cases}$$

Therefore,

$$S(\omega)=\begin{cases}\mu(\omega), & \omega\in Z\backslash Ş\\ \mu(\omega)\ \Delta\upsilon(\omega), & \omega\in Z\cap Ş\end{cases}$$

Hence, $(S,Z)=(\mu,Z)\ \tilde{\Delta}\ (\upsilon,Ş)$.

Theorem 12.

1) $S_E(U)$ is closed under $\tilde{\Delta}$. Namely, when (μ,Z) and $(\upsilon,Ç)$ are two SSs over U, then so is (μ,Z) $\tilde{\Delta}(\upsilon, Ç)$ as $\tilde{\Delta}$ is a binary operation in $S_E(U)$. $S_Z(U)$ is closed under $\tilde{\Delta}$, too.

In classical theory, $(M\Delta L)\Delta N= M\Delta(L\Delta N)$. As an analogy, we have:

2) $[(\mu, Z)\ \tilde{\Delta}\ (\upsilon,Z)]\ \tilde{\Delta}(\aleph,Z)=(\mu,Z)\ \tilde{\Delta}[(\upsilon, Z)\ \tilde{\Delta}(\aleph, Z)]$.

Proof: Let $(\mu, Z)\ \tilde{\Delta}(\upsilon,Z)=(T,Z)$, where $\forall\omega\in Z$;

$$T(\omega)=\begin{cases}\mu(\omega), & \omega\in Z\backslash Z=\emptyset\\ \mu(\omega)\ \Delta\upsilon(\omega)\ , & \omega\in Z\cap Z=Z\end{cases}$$

Let $(T,Z)\ \tilde{\Delta}(\aleph,Z)=(M,Z)$, where $\forall\omega\in Z$;

$$M(\omega)=\begin{cases}T(\omega), & \omega\in Z\backslash Z=\emptyset\\ T(\omega)\ \Delta\aleph(\omega)\ , & \omega\in Z\cap Z=Z\end{cases}$$

Thus,

$$M(\omega)=\begin{cases}T(\omega), & \omega\in Z\backslash Z=\emptyset\\ [\mu(\omega)\ \Delta\upsilon(\omega)]\Delta\aleph(\omega)\ , & \omega\in Z\cap Z=Z\end{cases}$$

Let $(\upsilon,Z)\ \tilde{\Delta}\ (\aleph,Z)=(K,Z)$, where $\forall\omega\in Z$;

$$K(\omega)=\begin{cases}\upsilon(\omega), & \omega\in Z\backslash Z=\emptyset\\ \upsilon(\omega)\ \Delta\aleph(\omega)\ , & \omega\in Z\cap Z=Z\end{cases}$$

Let $(\mu,Z)\ \tilde{\Delta}(K,Z)=(N,Z)$, where $\forall\omega\in Z$;

$$N(\omega)=\begin{cases}\mu(\omega), & \omega\in Z\backslash Z=\emptyset\\ \mu(\omega)\ \Delta K(\omega)\ , & \omega\in Z\cap Z=Z\end{cases}$$

Thus,

$$N(\omega)=\begin{cases}\mu(\omega), & \omega\in Z\backslash Z=\emptyset\\ \mu(\omega)\ \Delta[\upsilon(\omega)\Delta\aleph(\omega)]\ , & \omega\in Z\cap Z=Z\end{cases}$$

It is seen that $(M,Z)=(N,Z)$.

Namely, for the SSs whose PSs are the same, $\tilde{\Delta}$ is associative. Here's what we have right now:

3) $[(\mu, Z)\ \tilde{\Delta}(\upsilon,Ç)]\ \tilde{\Delta}(\aleph,Ö) = (\mu,Z)\ \tilde{\Delta}[(\upsilon,Ç)\ \tilde{\Delta}(\aleph,Ö)]$ where $Z\cap Ç'\cap Ö=\emptyset$.

Proof: Let $(\mu, Z)\ \tilde{\Delta}(\upsilon,Ç)=(T,Z)$, where $\forall\omega\in Z$;

$$\begin{cases}\mu(\omega), & \omega\in Z\backslash Ç\end{cases}$$

$T(\omega)=$

$$\mu(\omega)\ \Delta\mho(\omega)\ , \qquad \omega\in Z\cap Ç$$

Let $(T, Z)\ \tilde{\Delta}(\aleph,Ö)=(M,Z)$, where $\forall\omega\in Z$;

$$M(\omega)=\begin{cases} T(\omega), & \omega\in Z\backslash Ö \\ T(\omega)\ \Delta\aleph(\omega)\ , & \omega\in Z\cap Ö \end{cases}$$

Thus,

$$M(\omega)=\begin{cases} \mu(\omega), & \omega\in(Z\backslash Ç)\backslash Ö=Z\cap Ç'\cap Ö' \\ \mu(\omega)\ \Delta\mho(\omega), & \omega\in(Z\cap Ç)\backslash Ö=Z\cap Ç\cap Ö' \\ \mu(\omega)\ \Delta\aleph(\omega), & \omega\in(Z\backslash Ç)\cap Ö=Z\cap Ç'\cap Ö \\ [\ \mu(\omega)\ \Delta\mho(\omega)]\ \Delta\aleph(\omega), & \omega\in(Z\cap Ç)\ \cap Ö=Z\cap Ç\cap Ö \end{cases}$$

Let $(\mho,Ç)\ \tilde{\Delta}\ (\aleph,Ö)=(K,Ç)$, where $\forall\omega\in Ç$;

$$K(\omega)=\begin{cases} \mho(\omega), & \omega\in Ç\backslash Ö \\ \mho(\omega)\ \Delta\aleph(\omega)\ , & \omega\in Ç\cap Ö \end{cases}$$

Let $(\mu,Z)\ \tilde{\Delta}(K,Ç)=(S,Z)$, where $\forall\omega\in Z$;

$$S(\omega)=\begin{cases} \mu(\omega), & \omega\in Z\backslash Ç \\ \mu(\omega)\ \Delta K(\omega)\ , & \omega\in Z\cap Ç \end{cases}$$

Thus,

$$S(\omega)=\begin{cases} \mu(\omega), & \omega\in Z\backslash Ç \\ \mu(\omega)\ \Delta\mho(\omega), & \omega\in Z\cap(Ç\backslash Ö)=Z\cap Ç\cap Ö' \\ \mu(\omega)\ \Delta\ [\mho(\omega)\ \Delta\aleph(\omega)], & \omega\in Z\cap(Ç\cap Ö)=Z\cap Ç\cap Ö \end{cases}$$

Here, let's consider $\omega\in Z\backslash Ç$ in the second equation. Since $Z\backslash Ç= Z\cap Ç'$, if $\omega\in Ç'$, then $\omega\in Ö\backslash Ç$ or $\omega\in(Ç\cup Ö)'$. Hence, if $\omega\in Z\backslash Ç$, then $\omega\in Z\cap Ç'\cap Ö'$ or $\omega\in Z\cap Ç'\cap Ö$. Thus, it is seen that $(M,Z)=(S,Z)$, where $Z\cap Ç'\cap Ö=\emptyset$.

In classical theory, symmetric difference operation is commutative, i.e., $M\Delta L= L\Delta M$. However, we have:

4) $(\mu, Z)\ \tilde{\Delta}\ (\mho,Ç)\neq(\mho,Ç)\ \tilde{\Delta}(\mu,Z)$

Proof: Let $(\mu, Z)\ \tilde{\Delta}\ (\mho,Ç)=(\aleph,Z)$. Then, $\forall\omega\in Z$;

$$\aleph(\omega)=\begin{cases} \mu(\omega), & \omega\in Z\backslash Ç \\ \mu(\omega)\ \Delta\mho(\omega), & \omega\in Z\cap Ç \end{cases}$$

Let $(\mho,Ç)\ \tilde{\Delta}\ (\mu,Z)=(T,Ç)$. Then $\forall\omega\in Ç$;

$$\begin{cases} \mho(\omega)\ , & \omega\in Ç\backslash Z \end{cases}$$

$T(\omega)=$

$$\mho(\omega)\ \Delta_{\mathfrak{M}}(\omega), \qquad \omega\in Ç\cap Z$$

Here, while the PS of the SS of left side is Z; the PS of the SS of right side is Ç. Thus,

$$(\mathfrak{M}, Z)\ \tilde{\Delta}(\mho,Ç)\neq(\mho,Ç)\ \tilde{\Delta}(\mathfrak{M},Z).$$

Hence, $\tilde{\Delta}$ is not commutative in $S_E(U)$, where the PSs of the SSs are different. However, it is easy to see that

$$(\mathfrak{M}, Z)\tilde{\Delta}(\mho,Z)=(\mho,Z)\ \tilde{\Delta}\ (\mathfrak{M},Z).$$

That is to say, $\tilde{\Delta}$ is commutative, where the PSs of the SSs are the same.

In classical theory, $\emptyset$ is the identity element for the symmetric difference operation, i.e., $M\Delta\emptyset=\emptyset\Delta M=M$. As an analogy, we have:

5) $(\mathfrak{M}, Z)\ \tilde{\Delta}\ \emptyset_Z=\ \emptyset_Z\tilde{\Delta}\ (\mathfrak{M},Z)=(\mathfrak{M}, Z)$.

Proof: Let $\emptyset_Z=(S,Z)$. Then, $\forall\omega\in Z;\ S(\omega)=\emptyset$. Let $(\mathfrak{M}, Z)\ \tilde{\Delta}(S,Z)=(\aleph,Z)$, where $\forall\omega\in Z$,

$$\aleph(\omega)=\begin{cases}\mathfrak{M}(\omega)\ , & \omega\in Z\backslash Z=\emptyset\\ \mathfrak{M}(\omega)\ \Delta\ S(\omega), & \omega\in Z\cap Z=Z\end{cases}$$

Hence, $\forall\omega\in Z;\ \aleph(\omega)=\mathfrak{M}(\omega)\Delta S(\omega)=\mathfrak{M}(\omega)\ \Delta\emptyset=\mathfrak{M}(\omega)$. Thus, $(\aleph,Z)=(\mathfrak{M}, Z)$.

Note that, for the SSs whose PS is Z, $\emptyset_Z$ is the identity element for $\tilde{\Delta}$ in $S_Z(U)$.

In classical theory, every element is its own inverse for the symmetric difference operation, i.e., $M\Delta M=\emptyset$. As an analogy, we have:

6) $(\mathfrak{M}, Z)\ \tilde{\Delta}\ (\mathfrak{M},Z)=\emptyset_Z$.

Proof: Let $(\mathfrak{M}, Z)\ \tilde{\Delta}(\mathfrak{M},Z)=(\aleph,Z)$, where $\forall\omega\in Z$;

$$\aleph(\omega)=\begin{cases}\mathfrak{M}(\omega), & \omega\in Z\backslash Z=\emptyset\\ \mathfrak{M}(\omega)\ \Delta_{\mathfrak{M}}(\omega)\ , & \omega\in Z\cap Z=Z\end{cases}$$

Here $\forall\omega\in Z;\ \aleph(\omega)=\mathfrak{M}(\omega)\ \Delta_{\mathfrak{M}}(\omega)=\emptyset$, thus $(\aleph,Z)=\emptyset_Z$.

This property shows us that every SS is its own inverse for $\tilde{\Delta}$ in $S_Z(U)$ and also $\tilde{\Delta}$ has not idempotency property on $S_E(U)$.

REMARK 13: By Theorem 12 (1), (2), (4), (5) and (6), $(S_Z(U), \tilde{\Delta}\ )$ is an abelian group.

7) $(\mathfrak{M}, Z)\ \tilde{\Delta}\ \emptyset_E=(\mathfrak{M},Z)$.

Proof: Let $\emptyset_E=(S,E)$. Hence $\forall\omega\in E;\ S(\omega)=\emptyset$. Let $(\mathfrak{M},Z)\ \tilde{\Delta}\ (S,E)=(\aleph,Z)$. Thus, $\forall\omega\in Z$,

$$\aleph(\omega)=\begin{cases}\mathfrak{M}(\omega), & \omega\in Z\backslash E=\emptyset\\ \mathfrak{M}(\omega)\ \Delta S(\omega), & \omega\in Z\cap E=Z\end{cases}$$

Hence, $\forall\omega\in Z\ \aleph(\omega)=\mathfrak{M}(\omega)\ \Delta S(\omega)=\mathfrak{M}(\omega)\ \Delta\emptyset=\mathfrak{M}(\omega)$, so $(\aleph,Z)=(\mathfrak{M},Z)$.

Note that, for the SSs (no matter what the PS is), $\emptyset_E$ is the right identity element for $\tilde{\Delta}$ in $S_E(U)$.

8) $(\mu, Z)\ \tilde{\Delta}\ \emptyset_{\emptyset} = (\mu, Z)$.

Proof: Let $\emptyset_{\emptyset}=(S, \emptyset)$. Let $(\mu, Z)\ \tilde{\Delta}(S, \emptyset)=(\aleph,Z)$, where $\forall\omega\in Z$,

$$\aleph(\omega)=\begin{cases} \mu(\omega)\ , & \omega\in Z\setminus\emptyset=Z \\ \mu(\omega)\ \Delta\ S(\omega), & \omega\in Z\cap\emptyset=\emptyset \end{cases}$$

Hence, $\forall\omega\in Z$; $\aleph(\omega)=\mu(\omega)$. Thus, $(\aleph,Z)=(\mu, Z)$.

Note that, for the SSs (no matter what the PS is), $\emptyset_{\emptyset}$ is the right identity element for $\tilde{\Delta}$ in $S_E(U)$.

9) $\emptyset_{\emptyset}\tilde{\Delta}\ (\mu,Z)=\emptyset_{\emptyset}$

Proof: Let $(S, \emptyset)\tilde{\Delta}\ (\mu, Z)=(T, \emptyset)$. Since, $\emptyset_{\emptyset}$ is the unique SS with empty set, $(T, \emptyset)=\emptyset_{\emptyset}$. Note that, for the SSs (no matter what the PS is), $\emptyset_{\emptyset}$ is the left absorbing element for $\tilde{\Delta}$ in $S_E(U)$.

In classical theory, $M\Delta U=U\Delta M=M^{'}$, where U is the universal set. As an analogy, we have:

10) $(\mu, Z)\ \tilde{\Delta}\ U_Z=U_Z\tilde{\Delta}\ (\mu,Z)=(\mu,Z)^r$.

Proof: Let $U_Z = (T,Z)$. Then, $\forall\omega\in Z$; $T(\omega)=U$. Let $(\mu,Z)\ \tilde{\Delta}\ (T,Z)=(\aleph,Z)$, where $\forall\omega\in Z$;

$$\aleph(\omega)=\begin{cases} \mu(\omega)\ , & \omega\in Z\setminus Z=\emptyset \\ \mu(\omega)\ \Delta T(\omega), & \omega\in Z\cap Z=Z \end{cases}$$

Thus, $\forall\omega\in Z$; $\aleph(\omega)=\mu(\omega)\ \Delta T(\omega)=\mu(\omega)\ \Delta U=\mu^{'}(\omega)$, hence $(\aleph,Z)=(\mu,Z)^r$.

11) $(\mu, Z)\tilde{\Delta}U_E=(\mu,Z)^r$

Proof: Let $U_E=(T,E)$. Hence, $\forall\omega\in E$, $T(\omega)=U$. Let $(\mu, Z)\tilde{\Delta}\ (T, E)=(\aleph,Z)$, then $\forall\omega\in Z$,

$$\aleph(\omega)=\begin{cases} \mu(\omega), & \omega\in Z\setminus E=\emptyset \\ \mu(\omega)\ \Delta T(\omega), & \omega\in Z\cap E=Z \end{cases}$$

Hence, $\forall\omega\in Z$, $\aleph(\omega)=\mu(\omega)\ \Delta T(\omega)=\mu(\omega)\ \Delta U=\mu^{'}(\omega)$, so $(\aleph,Z)=(\mu,Z)^r$.

In classical theory, $M\Delta M' = M'\Delta M=U$, where U is the universal set. As an analogy, we have:

12) $(\mu, Z)\ \tilde{\Delta}\ (\mu,Z)^r=\ (\mu,Z)^r\ \tilde{\Delta}\ (\mu,Z)=U_Z$

Proof: Let $(\mu,Z)^r=(\aleph,Z)$. Hence, $\forall\omega\in Z$; $\aleph(\omega)=\mu'(\omega)$. Let $(\mu, Z)\ \tilde{\Delta}\ (\aleph,Z)=(T,Z)$, where $\forall\omega\in Z$,

$$T(\omega)=\begin{cases} \mu(\omega), & \omega\in Z\setminus Z=\emptyset \\ \mu(\omega)\ \Delta\aleph(\omega), & \omega\in Z\cap Z=Z \end{cases}$$

Hence, $\forall\omega\in Z$; $T(\omega)=\mu(\omega)\ \Delta\aleph(\omega)=\mu(\omega)\ \Delta\ \mu'(\omega)=U$, thus $(T,Z)=U_Z$.

In classical theory, $(M\Delta L)\Delta(L\Delta N)=M\Delta N$. As an analogy, we have:

13) $[(\mu, Z)\ \tilde{\Delta}\ (\mho,Ş)]\ \tilde{\Delta}[(\mho,Ş)\ \tilde{\Delta}\ (\aleph,Z)]=(\mu,Z)\ \tilde{\Delta}(\aleph, Ş)$.

Proof: Since the PS of the SSs of both hand side is Z, the first condition for the soft equality is satisfied. Now let $(\mu, Z)\ \tilde{\Delta}(\mho,Ş)=(\aleph,Z)$ where $\forall\omega\in Z$;

$$\aleph(\omega)=\begin{cases}\mu(\omega), & \omega\in Z\backslash S\\ \mu(\omega)\ \Delta\upsilon(\omega)\ , & \omega\in Z\cap S\end{cases}$$

Let $(\upsilon,S)\ \tilde{\Delta}(\aleph,Z)=(K,S)$ where $\forall\omega\in Z$;

$$K(\omega)=\begin{cases}\upsilon(\omega), & \omega\in S\backslash Z\\ \upsilon(\omega)\ \Delta\aleph\ (\omega)\ , & \omega\in S\cap Z\end{cases}$$

Let $(\aleph,Z)\tilde{\Delta}\ (K,S)=(S,Z)$, where for $\forall\omega\in Z$;

$$S(\omega)=\begin{cases}\aleph(\omega), & \omega\in Z\backslash S\\ \aleph(\omega)\ \Delta K(\omega)\ , & \omega\in Z\cap S\end{cases}$$

Hence,

$$S(\omega)=\begin{cases}\mu(\omega), & \omega\in(Z\backslash S)\backslash S=Z\backslash S\\ \mu(\omega)\ \Delta\upsilon(\omega)\ , & \omega\in(Z\cap S)\backslash S=\emptyset\\ \mu(\omega)\ \Delta\ \upsilon(\omega), & \omega\in(Z\backslash S)\cap(S\backslash Z)=\emptyset\\ \mu(\omega)\ \Delta\ (\upsilon(\omega)\ \Delta\aleph\ (\omega)), & \omega\in(Z\backslash S)\cap(S\cap Z)=\emptyset\\ (\mu(\omega)\ \Delta\upsilon(\omega))\ \Delta\upsilon(\omega), & \omega\in(Z\cap S)\cap(S\backslash Z)=\emptyset\\ [\mu(\omega)\ \Delta\upsilon(\omega)]\ \Delta\ [\upsilon(\omega)\ \Delta\aleph\ (\omega)], & \omega\in(Z\cap S)\cap S=Z\cap S\end{cases}$$

Thus,

$$S(\omega)=\begin{cases}\mu(\omega), & \omega\in Z\backslash S\\ [\mu(\omega)\ \Delta\upsilon(\omega)]\ \Delta\ [\upsilon(\omega)\ \Delta\aleph\ (\omega)], & \omega\in Z\cap S\end{cases}$$

Therefore,

$$S(\omega)=\begin{cases}\mu(\omega), & \omega\in Z\backslash S\\ \mu(\omega)\ \Delta\aleph\ (\omega), & \omega\in Z\cap S\end{cases}$$

Hence, $(S,Z)=(\mu, Z)\ \tilde{\Delta}\ (\aleph,S)$.

In classical theory, M'ΔL'=MΔL. Now, we have the folllowing:

14) $(\mu,Z)^r\ \tilde{\Delta}(\upsilon,Z)^r=(\mu, Z)\ \tilde{\Delta}(\upsilon,Z)$

Proof: Let $(\mu,Z)^r\ \tilde{\Delta}(\upsilon,Z)^r=(\aleph,Z)$. Then, $\forall\omega\in Z$,

$$\aleph(\omega)=\begin{cases}\mu'(\omega), & \omega\in Z\backslash Z=\emptyset\\ \end{cases}$$

$\mu'(\omega)\ \Delta\upsilon'(\omega), \quad \omega\in Z\cap Z=Z$

Since $\forall\omega\in Z$, $\aleph(\omega)=\mu'(\omega)\ \Delta\upsilon'(\omega)=\mu(\omega)\ \Delta\upsilon(\omega)$. Thus, $(\aleph,Z)=(\mu, Z)\ \tilde{\Delta}(\upsilon,Z)$.

In classical theory, for all M, $\emptyset \subseteq M$. As an analogy, we have:

15) $\emptyset_Z \cong(\mu, Z)\ \tilde{\Delta}(\upsilon,Ç)$ and $\emptyset_Ç \cong(\upsilon,Ç)\ \tilde{\Delta}(\mu,Z)$.

In classical theory, for all M, $M \subseteq U$. As an analogy, we have:

16) $(\mu, Z)\ \tilde{\Delta}(\upsilon,Ç) \cong U_Z$ and $(\upsilon,Ç)\ \tilde{\Delta}(\mu, Z) \cong U_Ç$.

In classical theory, $M\Delta L = M\Delta N \Longrightarrow L=N$ (Cancellation Law). As an analogy, we have:

17) $(\mu, Z)\tilde{\Delta}(\upsilon,Ş)=(\mu,Z)\ \tilde{\Delta}(\aleph, Ş) \implies (\upsilon, Z \cap Ş) =(\aleph, Z \cap Ş)$.

Proof: Let $(\mu, Z)\tilde{\Delta}(\upsilon,Ş)=(\aleph,Z)$. Then, $\forall\omega\in Z$,

$$\aleph(\omega)=\begin{cases}\mu(\omega), & \omega\in Z\backslash Ş\\ \mu(\omega)\ \Delta\upsilon(\omega), & \omega\in Z\cap Ş\end{cases}$$

Let, $(\mu,Z)\ \tilde{\Delta}(\aleph,Ş)=(T,Z)$, where $\forall\omega\in Z$,

$$T(\omega)=\begin{cases}\mu(\omega), & \omega\in Z\backslash Ş\\ \mu(\omega)\ \Delta\aleph(\omega), & \omega\in Z\cap Ş\end{cases}$$

Since, $(\aleph,Z)=(T,Z)$, then for all $\omega\in Z\cap Ş$; $\mu(\omega)\ \Delta\upsilon(\omega)=\mu(\omega)\ \Delta\aleph(\omega)$, thus $\upsilon(\omega)=\aleph(\omega)$ for all $\omega\in Z\cap Ş$. Hence, $(\upsilon, Z \cap Ş) =(\aleph, Z\cap Ş)$. Here note that $(\mu, Z)\tilde{\Delta}(\upsilon,Ş)=(\mu,Z)\ \tilde{\Delta}(\aleph, Ş)$ does not imply that $(\upsilon, Z) =(\aleph,Ş)$.

In classical theory, $M\Delta L \subseteq M \cup L$. As an analogy, we have:

18) $(\mu, Z)\ \tilde{\Delta}(\upsilon,Ş) \cong (\mu, Z)\ \tilde{\cup}\ (\upsilon, Ş)$.

Proof: Since the PS of the SSs of both hand side is Z, the first condition for the soft subset is satisfied. Let $(\mu, Z)\ \tilde{\Delta}(\upsilon,Ş)=(\aleph,Z)$, where $\forall\omega\in Z$,

$$\aleph(\omega)=\begin{cases}\mu(\omega), & \omega\in Z\backslash Ş\\ \mu(\omega)\ \Delta\upsilon(\omega), & \omega\in Z\cap Ş\end{cases}$$

Now let $(\mu, Z)\ \tilde{\cup}(\upsilon,Ş)=(T,Z)$, where $\forall\omega\in Z$,

$$T(\omega)=\begin{cases}\mu(\omega), & \omega\in Z\backslash Ş\\ \mu(\omega)\ \cup\upsilon(\omega), & \omega\in Z\cap Ş\end{cases}$$

Since for all $\omega\in Z\backslash Ş$, $\mu(\omega) \subseteq \mu(\omega)$ and $\forall\omega\in Z\cap Ş$, $\mu(\omega)\ \Delta\upsilon(\omega) \subseteq \mu(\omega) \cup \upsilon(\omega)$, thus for all $\forall\omega\in Z$, $\aleph(\omega) \subseteq T(\omega)$. Hence, $(\aleph,Z) \cong (T,Z)$.

In set theory, $M\Delta L = \emptyset \Leftrightarrow M=L$. As an analogy, we have (19) and (20) as below:

19) $(\mu, Z)\ \tilde{\Delta}(\upsilon, Z)= \emptyset_Z \Leftrightarrow (\mu, Z) = (\upsilon, Z)$

Proof: Necessity: Let $(\mu, Z)\ \tilde{\Delta}(\upsilon, Z) = (T,Z)$. Hence, $\forall\omega\in Z$,

$$T(\omega)=\begin{cases}\mu(\omega), & \omega\in Z\backslash Z=\emptyset\\ \mu(\omega)\ \Delta\upsilon(\omega), & \omega\in Z\cap Z=Z\end{cases}$$

Since $(T,Z)=\emptyset_Z$, $\forall\omega\in Z$, $T(\omega)=\emptyset$. Thus, $\forall\omega\in Z$, $\mu(\omega)\ \Delta\upsilon(\omega)=\emptyset$. Hence, $\forall\omega\in Z$, $\mu(\omega)=\upsilon(\omega)$.

So, $(\mu, Z) = (\upsilon, Z)$

Sufficiency: Let $(\mu, Z) = (\upsilon, Z)$. Thus, $\forall\omega\in Z$, $\mu(\omega)=\upsilon(\omega)$. Then, $(\mu, Z)\ \tilde{\Delta}(\upsilon, Z)=\emptyset_Z$.

20) $(\mu, Z)\ \tilde{\Delta}(\upsilon, Ş)=\emptyset_Z \Leftrightarrow (\mu, Z\backslash Ş) = \emptyset_{Z\backslash Ş}$ and $(\mu, Z\cap Ş)=(\upsilon, Z\cap Ş)$.

Proof: Necessity: Let $(\mu, Z)\ \tilde{\Delta}(\upsilon, Ş) = (T,Z)$. Hence, $\forall\omega\in Z$,

$$T(\omega)=\begin{cases}\mu(\omega), & \omega\in Z\backslash Ş\\ \mu(\omega)\ \Delta\upsilon(\omega), & \omega\in Z\cap Ş\end{cases}$$

Since $(T,Z)=\emptyset_Z$, $\forall\omega\in Z$, $T(\omega)=\emptyset$. Thus, $\forall\omega\in Z\backslash Ş$, $\mu(\omega)=\emptyset$ and $\forall\omega\in Z\cap Ş$, $\mu(\omega)\ \Delta\upsilon(\omega)=\emptyset$. Hence, $\forall\omega\in Z\cap Ş$, $\mu(\omega)=\upsilon(\omega)$. Therefore, $(\mu, Z\backslash Ş) = \emptyset_{Z\backslash Ş}$ and $(\mu, Z\cap Ş)=(\upsilon, Z\cap Ş)$. This completes the proof of necessity condition.

Sufficiency: Let $(\mu, Z)\ \tilde{\Delta}(\upsilon, Ş) = (T,Z)$. Hence, $\forall\omega\in Z$,

$$T(\omega)=\begin{cases}\mu(\omega), & \omega\in Z\backslash Ş\\ \mu(\omega)\ \Delta\upsilon(\omega), & \omega\in Z\cap Ş\end{cases}$$

Assume that $(\mu, Z\backslash Ş) = \emptyset_{Z\backslash Ş}$ and $(\mu, Z\cap Ş)=(\upsilon, Z\cap Ş)$. Thus,

$$T(\omega)=\begin{cases}\emptyset, & \omega\in Z\backslash Ş\\ \emptyset, & \omega\in Z\cap Ş\end{cases}$$

Thus, $(T,Z)=\emptyset_Z$. This completes the proof.

In classical theory, $M\Delta L = M\cup L \Leftrightarrow M\cap L=\emptyset$. As an analogy, we have (21) and (22).

21) $(\mu, Z)\ \tilde{\Delta}(\upsilon,Z) =(\mu, Z)\ \tilde{\cup}\ (\upsilon, Z) \Leftrightarrow (\mu, Z)\ \tilde{\cap}\ (\upsilon, Z)= \emptyset_Z$

Proof: Let $(\mu, Z)\ \tilde{\Delta}(\upsilon,Z)=(\aleph,Z)$ and $(\mu, Z)\ \tilde{\cup}(\upsilon,Z)=(T,Z)$. Then,

$$\aleph(\omega)=\begin{cases}\mu(\omega), & \omega\in Z\backslash Z=\emptyset\\ \mu(\omega)\ \Delta\upsilon(\omega), & \omega\in Z\cap Z=Z\end{cases}$$

and

$$T(\omega)=\begin{cases}\mu(\omega), & \omega\in Z\backslash Z=\emptyset\\ \end{cases}$$

$\mu(\omega) \cup \upsilon(\omega), \quad \omega \in Z \cap Z = Z$

Since $(\aleph, Z) = (T, Z)$, then $\forall \omega \in Z$, $\aleph(\omega) = \mu(\omega) \Delta \upsilon(\omega) = \mu(\omega) \cup \upsilon(\omega) = T(\omega)$. Thus, $\forall \omega \in Z$, $\mu(\omega) \cap \upsilon(\omega) = \emptyset$. Hence, $(\mu, Z) \tilde{\cap} (\upsilon, Z) = \emptyset_Z$.

22) $(\mu, Z) \tilde{\Delta} (\upsilon, Ş) = (\mu, Z) \tilde{\cup} (\upsilon, Ş) \Leftrightarrow (\mu, Z) \cap_R (\upsilon, Ş) = \emptyset_{Z \cap Ş}$.

Proof: Let $(\mu, Z) \tilde{\Delta} (\upsilon, Ş) = (\aleph, Z)$ and $(\mu, Z) \tilde{\cup} (\upsilon, Ş) = (T, Z)$. Then,

$$\aleph(\omega) = \begin{cases} \mu(\omega), & \omega \in Z \setminus Ş \\ \mu(\omega) \Delta \upsilon(\omega), & \omega \in Z \cap Ş \end{cases}$$

and

$$T(\omega) = \begin{cases} \mu(\omega), & \omega \in Z \setminus Ş \\ \mu(\omega) \cup \upsilon(\omega), & \omega \in Z \cap Ş \end{cases}$$

Since $(\aleph, Z) = (T, Z)$, then $\forall \omega \in Z \cap Ş$, $\mu(\omega) \Delta \upsilon(\omega) = \mu(\omega) \cup \upsilon(\omega)$. Thus, $\forall \omega \in Z \cap Ş$, $\mu(\omega) \cap \upsilon(\omega) = \emptyset$. Hence, $(\mu, Z) \cap_R (\upsilon, Ş) = \emptyset_{Z \cap Ş}$.

In classical theory, $M \subseteq L \Longrightarrow M \Delta L = L \setminus M$. As an analogy, we have (23) and (24):

23) $(\mu, Z) \tilde{\subseteq} (\upsilon, Z) \Longrightarrow (\mu, Z) \tilde{\Delta} (\upsilon, Z) = (\upsilon, Z) \tilde{\setminus} (\mu, Z)$.

Proof: Let $(\mu, Z) \tilde{\subseteq} (\upsilon, Z)$. Then, $\forall \omega \in Z$, $\mu(\omega) \subseteq \upsilon(\omega)$ and let $(\mu, Z) \tilde{\Delta} (\upsilon, , Z) = (\aleph, Z)$. Then, $\forall \omega \in Z$,

$$\aleph(\omega) = \begin{cases} \mu(\omega), & \omega \in Z \setminus Z = \emptyset \\ \mu(\omega) \Delta \upsilon(\omega), & \omega \in Z \cap Z = Z \end{cases}$$

Since $\forall \omega \in Z$, $\mu(\omega) \subseteq \upsilon(\omega)$, and $\aleph(\omega) = \mu(\omega) \Delta \upsilon(\omega) = \upsilon(\omega) \setminus \mu(\omega)$. Thus, $(\aleph, Z) = (\upsilon, Z) \tilde{\setminus} (\mu, Z)$.

24) $(\mu, Z) \tilde{\subseteq} (\upsilon, Ş) \Longrightarrow (\mu, Z) \tilde{\Delta} (\upsilon, Ş) \tilde{\subseteq} (\upsilon, Ş) \tilde{\setminus} (\mu, Z)$.

Proof: Let $(\mu, Z) \tilde{\subseteq} (\upsilon, Ş)$. Then, $Z \subseteq Ş$, and so the first condition for the soft subset is satisfied. Moreover, since $(\mu, Z) \tilde{\subseteq} (\upsilon, Ş)$, $\forall \omega \in Z$, $\mu(\omega) \subseteq \upsilon(\omega)$. Let $(\mu, Z) \tilde{\Delta} (\upsilon, Ş) = (\aleph, Z)$. Then, $\forall \omega \in Z$,

$$\aleph(\omega) = \begin{cases} \mu(\omega), & \omega \in Z \setminus Ş = \emptyset \\ \mu(\omega) \Delta \upsilon(\omega), & \omega \in Z \cap Ş = Z \end{cases}$$

Let $(\upsilon, Ş) \tilde{\setminus} (\mu, Z) = (T, Ş)$. Then, $\forall \omega \in Ş$,

$$T(\omega) = \begin{cases} \mu(\omega), & \omega \in Ş \setminus Z \\ \upsilon(\omega) \setminus \mu(\omega), & \omega \in Ş \cap Z = Z \end{cases}$$

Since $\forall \omega \in Z$, $\mu(\omega) \subseteq \upsilon(\omega)$, thus $\mu(\omega) \Delta \upsilon(\omega) = \upsilon(\omega) \setminus \mu(\omega)$. Therefore, $(\aleph, Z) \tilde{\subseteq} (T, Ş)$.

In classical theory, $M \Delta (M \cap L) = M \setminus L$. As an analogy, we have:

25) $(\mathcal{M},Z)\ \tilde{\Delta}[(\mathcal{H},Z)\ \tilde{\cap}(\mathcal{O},Z)]=(\mathcal{M},Z)\ \tilde{\setminus}(\mathcal{O},Z)$.

Proof: Let $(\mathcal{H},Z)\ \tilde{\cap}(\mathcal{O},Z)=(\mathcal{N},Z)$. Then, $\forall\omega\in Z$,

$$\mathcal{N}(\omega)=\begin{cases}\mathcal{M}(\omega), & \omega\in Z\setminus Z=\emptyset\\ \mathcal{M}(\omega)\cap\mathcal{O}(\omega), & \omega\in Z\cap Z=Z\end{cases}$$

Let, $(\mathcal{M},Z)\ \tilde{\Delta}(\mathcal{N},Z)=(T,Z)$, where , $\forall\omega\in Z$,

$$T(\omega)\begin{cases}\mathcal{M}(\omega), & \omega\in Z\setminus Z=\emptyset\\ \mathcal{M}(\omega)\ \Delta\mathcal{N}(\omega), & \omega\in Z\cap Z=Z\end{cases}$$

Hence,

$$T(\omega)=\begin{cases}\mathcal{M}(\omega), & \omega\in Z\setminus Z=\emptyset\\ \mathcal{M}(\omega)\ \Delta[\mathcal{M}(\omega)\cap\mathcal{O}(\omega)], & \omega\in Z\cap Z=Z\end{cases}$$

So,

$$T(\omega)=\begin{cases}\mathcal{M}(\omega), & \omega\in Z\setminus Z=\emptyset\\ \mathcal{M}(\omega)\setminus\mathcal{O}(\omega), & \omega\in Z\cap Z=Z\end{cases}$$

Thus, $(T,Z)=(\mathcal{M},Z)\ \tilde{\setminus}(\mathcal{O},Z)$.

In classical theory, $M\cup L=(M\Delta L)\cup(M\cap L)$. As an analogy, we have:

26) $(\mathcal{H},Z)\ \tilde{\cup}(\mathcal{O},\mathcal{S})=[(\mathcal{M},Z)\ \tilde{\Delta}(\mathcal{O},\mathcal{S})]\ \tilde{\cup}\ [(\mathcal{H},Z)\ \tilde{\cap}(\mathcal{O},\mathcal{S})]$.

Proof: Since the PS of the SSs of both hand side is Z, the first condition for the soft equality is satisfied. First let's consider right side. Let $(\mathcal{H},Z)\ \tilde{\cup}(\mathcal{O},\mathcal{S})=(\mathcal{N},Z)$. Then, $\forall\omega\in Z$,

$$\mathcal{N}(\omega)=\begin{cases}\mathcal{M}(\omega), & \omega\in Z\setminus\mathcal{S}\\ \mathcal{M}(\omega)\cup\mathcal{O}(\omega), & \omega\in Z\cap\mathcal{S}\end{cases}$$

Now let's consider left side. Let $(\mathcal{H},Z)\tilde{\Delta}(\mathcal{O},\mathcal{S})=(K,Z)$. Then, $\forall\omega\in Z$,

$$K(\omega)=\begin{cases}\mathcal{M}(\omega), & \omega\in Z\setminus\mathcal{S}\\ \mathcal{M}(\omega)\ \Delta\mathcal{O}(\omega), & \omega\in Z\cap\mathcal{S}\end{cases}$$

Let, $(\mathcal{M},Z)\ \tilde{\cap}(\mathcal{O},\mathcal{S})=(T,Z)$, where $\forall\omega\in Z$,

$$\begin{cases}\mathcal{M}(\omega), & \omega\in Z\setminus\mathcal{S}\end{cases}$$

$T(\omega)=$

$$\mu(\omega) \cap \vartheta(\omega), \quad \omega \in Z \cap Ş$$

Now, let $(K,Z)\ \tilde{\cup}(T,Z)=(S,Z)$, where $\forall \omega \in Z$,

$$S(\omega)=\begin{cases} K(\omega), & \omega \in Z \setminus Z=\emptyset \\ K(\omega) \cup T(\omega), & \omega \in Z \cap Z=Z \end{cases}$$

Thus,

$$S(\omega)=\begin{cases} \mu(\omega) \cup \mu(\omega) & \omega \in (Z \setminus Ş) \cap (Z \setminus Ş) = Z \setminus Ş \\ \mu(\omega) \cup [\mu(\omega) \cap \vartheta(\omega)], & \omega \in (Z \setminus Ş) \setminus \cap (Z \cap Ş) = \emptyset \\ [\mu(\omega) \Delta \vartheta(\omega)] \cup \mu(\omega), & \omega \in (Z \cap Ş) \cap (Z \setminus Ş) = \emptyset \\ [\mu(\omega) \Delta \vartheta(\omega)] \cup [\mu(\omega) \cap \vartheta(\omega)], & \omega \in (Z \cap Ş) \cap (Z \cap Ş) = Z \cap Ş \end{cases}$$

Thus,

$$S(\omega)=\begin{cases} \mu(\omega), & \omega \in Z \setminus Ş \\ \mu(\omega) \cup \vartheta(\omega), & \omega \in Z \cap Ş \end{cases}$$

Thus, $(א,Z)=(S,Z)$. This completes the proof.

In classical theory, intersection distributes over symmetric difference from both left and right side, that is, $M \cap (L \Delta N) = (M \cap L) \Delta (M \cap N)$ and $(M \Delta L) \cap N = (M \cap N) \Delta (L \cap N)$ for all M,L,N. As an analogy, we have the following two properties:

27) $(\mu, Z)\ \cap_R [(\vartheta, Ş)\ \tilde{\Delta}\ (א, C)] = [(\mu, Z) \cap_R (\vartheta, Ş)] \tilde{\Delta}\ [(\mu, Z)\ \cap_R (א, C)]$

Proof: Let's first consider the left side. Let $(\vartheta, Ş) \tilde{\Delta}\ (א, C)=(M, Ş)$, where $\forall \omega \in Ş$;

$$M(\omega)=\begin{cases} \vartheta(\omega), & \omega \in Ş \setminus C \\ \vartheta(\omega) \Delta א(\omega), & \omega \in Ş \cap C \end{cases}$$

Assume that $(\mu, Z) \cap_R (M, Ş) = (N, Z \cap Ş)$, where $\forall \omega \in Z \cap Ş$; $N(\omega)=\mu(\omega) \cap M(\omega)$. Hence,

$$N(\omega)=\begin{cases} \mu(\omega) \cap \vartheta(\omega), & \omega \in Z \cap (Ş \setminus C) \\ \mu(\omega) \cap [\vartheta(\omega) \Delta א(\omega)], & \omega \in Z \cap (Ş \cap C) \end{cases}$$

Now let's consider the right side: $[(\mu, Z) \cap_R (\vartheta, Ş)]\ \tilde{\Delta} [(\mu, Z)\ \cap_R (א, C)]$. Let $(\mu, Z)\ \cap_R (\vartheta, Ş) = (K, Z \cap Ş)$, where $\forall \omega \in Z \cap Ş$, $K(\omega)=\mu(\omega) \cap \vartheta(\omega)$. Let $(\mu, Z)\ \cap_R (א, C)=(T, Z \cap C)$, where $\forall \omega \in Z \cap C$; $T(\omega)=\mu(\omega) \cap א(\omega)$. Thus, $(K, Z \cap Ş) \tilde{\Delta}\ (T, Z \cap C)=(L, Z \cap Ş)$, where $\forall \omega \in Z \cap Ş$;

$$L(\omega)=\begin{cases} K(\omega), & \omega \in (Z \cap Ş) \setminus (Z \cap C) \\ K(\omega) \Delta T(\omega), & \omega \in (Z \cap Ş) \cap (Z \cap C) \end{cases}$$

Thus,

$$L(\omega)=\begin{cases} M(\omega)\cap\mho(\omega), & \omega\in (Z\cap Ş)\setminus(Z\cap C)= Z\cap(Ş\setminus C) \\ [M(\omega)\cap\mho(\omega)]\Delta[M(\omega)\cap Ж(\omega)], & \omega\in (Z\cap Ş)\cap(Z\cap C)=Z\cap(Ş\cap C) \end{cases}$$

Hence, $(N,Z\cap Ş)=(L,Z\cap Ş)$. Here note that if $Z\cap Ş=\emptyset$, then the left hand side is equal to $\emptyset_\emptyset$ and the right hand side is $\emptyset_\emptyset\tilde{\Delta}[(M,Z)\cap_R(Ж,C)]=\emptyset_\emptyset$, too.

28) $[(M,Z)\tilde{\Delta}(\mho,Ş)]\cap_R(Ж,C)=[(M,Z)\cap_R(Ж,C)]\tilde{\Delta}[(\mho,Ş)\cap_R(Ж,C)]$

Proof: Let's consider first the left side. Let $(M,Z)\tilde{\Delta}(\mho,Ş)=(M,Z)$, where $\forall\omega\in Z$;

$$M(\omega)=\begin{cases} M(\omega), & \omega\in Z\setminus Ş \\ M(\omega)\,\Delta\mho(\omega), & \omega\in Z\cap Ş \end{cases}$$

Now, let $(M,Z)\cap_R(Ж,C)=(W,Z\cap C)$, where $\forall\omega\in Z\cap C$; $W(\omega)=M(\omega)\cap Ж(\omega)$. Thus,

$$W(\omega)=\begin{cases} M(\omega)\cap Ж(\omega), & \omega\in(Z\setminus Ş)\cap C \\ [M(\omega)\,\Delta\mho(\omega)]\cap Ж(\omega), & \omega\in(Z\cap Ş)\cap C \end{cases}$$

Now let's consider the right side: $[(M,Z)\cap_R(Ж,C)]\tilde{\Delta}[(\mho,Ş)\cap_R(Ж,C)]$. Let $(M,Z)\cap(Ж,C)=(K,Z\cap C)$, where $\forall\omega\in Z\cap C$, $K(\omega)=M(\omega)\cap Ж(\omega)$. Let $(\mho,Ş)\cap_R(Ж,C)=(T,Ş\cap C)$, where $\forall\omega\in Ş\cap C$; $T(\omega)=\mho(\omega)\cap Ж(\omega)$. Thus, $(K,Z\cap C)\tilde{\Delta}(T,Ş\cap C)=(R,Z\cap C)$, where $\forall\omega\in Z\cap C$;

$$R(\omega)=\begin{cases} K(\omega), & \omega\in (Z\cap C)\setminus(Ş\cap C) \\ K(\omega)\,\Delta T(\omega), & \omega\in (Z\cap C)\cap(Ş\cap C) \end{cases}$$

Thus,

$$Q(\omega)=\begin{cases} M(\omega)\cap Ж(\omega), & \omega\in (Z\cap C)\setminus(Ş\cap C)=(Z\setminus Ş)\cap C \\ [M(\omega)\cap Ж(\omega)]\,\Delta\,[\mho(\omega)\cap Ж(\omega)], & \omega\in (Z\cap C)\cap(Ş\cap C)=(Z\cap Ş)\cap C \end{cases}$$

Hence $(W,Z\cap C)=(Q,Z\cap C)$, Here note that if $Z\cap C=\emptyset$, then right hand side is $\emptyset_\emptyset\tilde{\Delta}[(\mho,Ş)\cap_R(Ж,C)]=\emptyset_\emptyset$, and the left hand side is $\emptyset_\emptyset$, too.

REMARK 14: In Remark13, we show that $(S_A(U),\tilde{\Delta})$ is an abelian group with identity $\emptyset_A$ and every element is its own inverse. Hence, we can deduce that $(S_A(U),\tilde{\Delta})$ is a semigroup. Moreover, in [3,5,17], it was proved that $(S_A(U),\cap_R)$ is a commutative monoid with identity U_A. Hence, we can deduce that $(S_A(U),\cap_R)$ is a semigroup. Moreover, by Theorem 12. (27) and (28), $\cap_R$ distributes over $\tilde{\Delta}$ from both sides. Therefore, $(S_A(U),\tilde{\Delta},\cap_R)$ is a semiring. Further, by Theorem 12 (4) $(F,A)\tilde{\Delta}(G,A)=(G,A)\tilde{\Delta}(F,A)$. That is to say, $\tilde{\Delta}$ is commutative in $S_A(U)$ and $(F,A)\tilde{\Delta}\emptyset_A=\emptyset_A\tilde{\Delta}(F,A)=(F,A)$ and $(F,A)\cap_R\emptyset_A=\emptyset_A\cap_R(F,A)=\emptyset_A$. That is to say, $\emptyset_A$ is the zero element of $(S_A(U),\tilde{\Delta},\cap_R)$. Therefore, $(S_A(U),\tilde{\Delta},\cap_R)$ is a hemiring. Besides, since $(F,A)\cap_R U_A=U_A\cap_R(F,A)=(F,A)$ and $(F,A)\cap_R(G,A)=(G,A)\cap_R(F,A)$ (see [3,5,17]) , $(S_A(U),\tilde{\Delta},\cap_R)$ is a commutative hemiring with identity U_A.

Also, since $(S_A(U),\tilde{\Delta})$ is an abelian group by Remark 13, $(S_A(U),\cap_R)$ is a semigroup by [3,5,17] and $\cap_R$ distributes over $\tilde{\Delta}$ from both side by Theorem 12. (27) and (28), we can also deduce that $(S_A(U),\tilde{\Delta},\cap_R)$ is a

ring. Also, since $(F,A) \cap_R (G,A) = (G,A) \cap_R (F,A)$ and $(F,A) \cap_R U_A = U_A \cap_R (F,A) = (F,A)$, (see [3,5,17]), $(S_A(U),\tilde{\Delta},\cap_R)$ is a commutative ring with identity U_A. Moreover, $(F,A)^2 = (F,A) \cap_R (F,A) = (F,A)$ for all $(F,A) \in S_A(U)$. Thus, $(S_A(U),\tilde{\Delta},\cap_R)$ is a Boolean ring and (F,A)$\tilde{\Delta}$(F,A)= $\emptyset_A$ and (F,A)$\tilde{\Delta}$G,A)=(G,A)$\tilde{\Delta}$(F,A) is satisfied naturally as a result of being Boolean ring.

CONCLUSIONS

To treat uncertain objects, the soft set and soft operations are powerful parametric tools. In order to consider problems containing parametric data, creating new soft operations and deriving their algebraic properties and implementations will offer new perspectives. In this regard, this research represents a novel form of soft set operation, which we call soft binary piecewise symmetric difference operation. The basic algebraic properties of the operations are examined. By examining the distribution rules, we determine the connections between this new soft set operation and restricted intersection operation. Additionally, we demonstrate that the set of all the soft sets with a fixed parameter set together with the soft binary piecewise symmetric difference operation and the restricted intersection operation is a commutative hemiring with identity and also Boolean ring. New varieties of soft set operations could be developed in upcoming studies. Additionally, as the soft set operation is a potent mathematical tool for the identification of uncertain objects, researchers may propose some novel encryption or decision-making techniques as a result of this study. The operation outlined in this study can also be used to revisit studies on soft algebraic structures in terms of their algebraic properties.

REFERENCES

[1] D. Molodtsov, Soft set theory-first results. *Computers and Mathematics with Applications*. 37 (1) (1999), 19-31. doi:10.1016/S0898/1221(99)00056/5

[2] P.K. Maji, R. Bismas, A.R. Roy, Soft set theory, *Computers and Mathematics with Applications*. 45 (1) (2003), 555-562. doi:10.1016/S08986/1221(03)000166/6

[3] D. Pei and D. Miao, From Soft Sets to Information Systems, In: Proceedings of Granular Computing. *IEEE*. 2 (2005), 617-621. doi: 10.1109/GRC.2005.1547365

[4] M. I. Ali, F. Feng, X. Liu, W. K. Min., M. Shabir, On some new operations in soft set theory, *Computers and Mathematics with Applications*. 57(9) (2009), 1547-1553. doi:10.1016/j.camwa.2008.11.00

[5] A. Sezgin, A. O. Atagün, On operations of soft sets, *Computers and Mathematics with Applications*. 61(5) (2011), 1457-1467. doi:10.1016/j.camwa.2011.01.018

[6] A. Sezgin, A. Shahzad, A. Mehmood A. New Operation on Soft Sets: Extended Difference of Soft Sets, *Journal of New Theory*. (27) (2019), 33-42.

[7] N. S. Stojanovic, A new operation on soft sets: extended symmetric difference of soft sets, *Military Technical Courier*. 69(4) (2021), 779-791. doi:10.5937/vojtehg69/33655

[8] Ö. F. Eren, On operations of soft sets, Master of Science Thesis, Ondokuz Mayıs University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences in Mathematics Department, Samsun, 2019.

[9] E. Yavuz, Soft binary piecewise operations and their properties, Master of Science Thesis, Amasya University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences in Mathematics Department, Amasya, 2024.

[10] A. Sezgin, M. Sarıalioğlu M., New soft set operation: Complementary soft binary piecewise theta operation, *Journal of Kadirli Faculty of Applied Sciences.* (in press).

[11] A. Sezgin F. Aybek, A.O. Atagün, New soft set operation: Complementary soft binary piecewise intersection operation, *Black Sea Journal of Engineering and Science.* (6)4 (2023), 330-346. doi:10.34248/bsengineering.1319873

[12] A. Sezgin, F. Aybek, N. B. Güngör, New soft set operation: Complementary soft binary piecewise union operation, *Acta Informatica Malaysia*. (7)1 (2023), 38-53. doi:10.26480/aim.01.2023.38.53

[13] A. Sezgin, N. Çağman, New soft set operation: Complementary soft binary piecewise difference operation, *Osmaniye Korkut Ata University Journal of the Institute of Science and Technology.* (in press).

[14] C.F. Yang, "A note on: "Soft set theory" [Computers & Mathematics with Applications 45 (2003), 4-5, 555–562]," *Computers & Mathematics with Applications.* 56 (7) (2008), 1899–1900. doi:10.1016/j.camwa.2008.03.019

[15] F. Feng, Y. M. Li, B. Davvaz, M.I. Ali, Soft sets combined with fuzzy sets and rough sets: a tentative approach, *Soft Computing*. 14 (2010), 899–911. doi:10.1007/s00500-009-0465-6

[16] Y. Jiang, Y. Tang, Q. Chen, J. Wang, S. Tang, Extending soft sets with description logics, *Computers and Mathematics with Applications*. 59 (2010), 2087–2096. doi:10.1016/j.camwa.2009.12.014

[17] M.I. Ali, M. Shabir, M. Naz, Algebraic structures of soft sets associated with new operations, *Computers and Mathematics with Applications*. 61 (2011), 2647–2654. doi:10.1016/j.camwa.2011.03.011

[18] I.J. Neog, D.K. Sut, A new approach to the theory of soft set, *International Journal of Computer Applications*, 32 (2) (2011), 1-6. doi:10.5120/3874-5415

[19] L. Fu, Notes on soft set operations, ARPN Journal of Systems And Softwares, 1 (2011), 205-208. doi:10.1142/9789814365147_0008

[20] X. Ge, S. Yang, Investigations on some operations of soft sets, World Academy of Science, *Engineering and Technology*, 75 (2011), 1113-1116

[21] D. Singh, I.A. Onyeozili, Some conceptual misunderstanding of the fundamentals of soft set theory, *ARPN Journal of Systems and Softwares*, 2 (9) (2012a), 251-254.

[22] D. Singh, I.A. Onyeozili, Some results on Distributive and absorption properties on soft operations, *IOSR Journal of Mathematics*, 4 (2) (2012b), 18-30.

[23] D. Singh, I.A. Onyeozili, On some new properties on soft set operations, *International Journal of Computer Applications*. 59 (4) (2012c), 39-44.

[24] D. Singh, I.A. Onyeozili, Notes on soft matrices operations, *ARPN Journal of Science and Technology.* 2(9) (2012d), 861-869.

[25] Z. Ping, W. Qiaoyan, Operations on soft sets revisited, *Journal of Applied Mathematics.* Volume 2013 Article ID 105752 (2013), 7 pages. doi:10.1155/2013/105752

[26] S. Jayanta, On algebraic structure of soft sets, *Annals of Fuzzy Mathematics and Informatics*. 7 (6) (2014), 1013-1020.

[27] I.A. Onyeozili, T.M. Gwary, A study of the fundamentals of soft set theory, *Internatıonal Journal of Scıentıfic & Technology Research*. 3 (4) (2014), 132-143.

[28] S. Husain, Km. Shamsham, A study of properties of soft set and its applications, *International Research Journal of Engineering and Technology*. 5 (1) (2018), 363-372.

[29] H. S. Vandiver, Note on a simple type of algebra in which the cancellation law of addition does not hold, *Bulletin of the American Mathematical Society*. 40 (12) (1934), 914–920. doi:10.1090/S0002-9904-1934-06003-8

[30] T. Vasanthi and N. Sulochana, On the additive and multiplicative structure of semirings, *Annals of Pure and Applied Mathematics.* 3 (1) (2013), 78–84.

[31] A. Kaya and M. Satyanarayana, Semirings satisfying properties of distributive type, *Proceedings of the American Mathematical Society*. 82 (3) (1981), 341–346. doi:10.2307/2043936

[32] P. H. Karvellas, Inversive semirings, *Journal of the Australian Mathematical Society*, (18) 3 (1974), 277–288. doi:10.1017/S1446788700022850

[33] K. R. Goodearl, Von Neumann Regular Rings, Pitman, London, 1979.

[34] M. Petrich, Introduction to Semiring, Charles E Merrill Publishing Company, Ohio, 1973.

[35] C. Reutenauer and H. Straubing, Inversion of matrices over a commutative semiring, *Journal of Algebra*. 88 (2) (1984), 350–360. doi:10.1016/0021-8693(84)90070-X

[36] K. Glazek, A guide to litrature on semirings and their applications in mathematics and ınformation sciences: with complete bibliography, Kluwer Academiy Publication, Nederland, 2002.

[37] L. B. Beasley, N.G. Pullman, Operators that preserves semiring matrix functions, *Linear Algebra Application*. 99 (1988), 199–216. doi:10.1016/0024-3795(88)90132-2

[38] L.B. Beasley, N.G. Pullman, Linear operators strongly preserving idempotent matrices over semirings, *Linear Algebra Appliction*. 160 (1992), 217–229. doi:10.1016/0024-3795(92)90448-J

[39] S. Ghosh, Matrices over semirings, *Information Science*. 90 (1996), 221–230. doi:10.1016/0020-0255(95)00283-9.

[40] W. Wechler, The concept of fuzziness in automata and language theory, Akademic Verlag, Berlin, 1978.

[41] J. S. Golan, Semirings and their applications, Springer Dordrecht, 1999. doi:10.1007/978-94-015-9333-5.

[42] U. Hebisch, H.J. Weinert, Semirings: Algebraic theory and applications in the computer science, World Scientific, Germany, 1998.

Necmettin Erbakan Üniversitesi
Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi
Journal of Science and Engineering (NEJSE)
DOI: 10.47112/neufmbd.2023.19

Cilt: 5 Sayı:2 Yıl: 2023 | Araştırma Makelesi / Research Article | E-ISSN: 2667- 7989

Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması Kullanılarak Nakagami Dağılımı için En Çok Olabilirlik Tahmini ve Uygulamaları

Adi Omaia FAOURI [1] **Pelin KASAP** [2]

[1] Ondokuz Mayıs University, Faculty of Science, Department of Statistics, Samsun, Türkiye, adi.faouri@gmail.com

[2] Ondokuz Mayıs University, Faculty of Science, Department of Statistics, Samsun, Türkiye, pelin.kasap@omu.edu.tr *(Sorumlu Yazar/ Corresponding Author)*

Makale Bilgileri

Makale Geçmişi
Geliş: 03.09.2023
Kabul: 12.10.2023
Yayın: 31.12.2023

Anahtar Kelimeler: En çok olabilirlik, Nakagami dağılımı, Parçacık sürü optimizasyon, Monte-Carlo simülasyon.

ÖZ

Nakagami dağılımı, radyo sinyallerinin sönümlenmesini modellemek için ortaya çıkmıştır ve çeşitli disiplinlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, dağılımın şekil ve ölçek parametrelerini tahmin etmek için en çok olabilirlik (ML) tahmin yöntemi kullanılmıştır. Ancak, bu dağılım için olabilirlik denklemlerinin açık çözümleri bulunmamaktadır. Bu nedenle, bu denklemlerin çözümü için, parçacık sürüsü optimizasyon (PSO), genetik algoritma (GA) ve quasi-newton (QN) algoritmaları olmak üzere üç temel algoritma kullanılmıştır. Bu algoritmaların performanslarının karşılaştırmaları, yan, hata kareler ortalaması (MSE) ve eksiklik (DEF) kriterleri dikkate alınarak, kapsamlı bir Monte-Carlo simülasyon çalışması ile yapılmıştır. Model, kullanışlılığını göstermek amacıyla dört gerçek veri setine uygulanmıştır.

Maximum Likelihood Estimation for the Nakagami Distribution using Particle Swarm Optimization Algorithm with Applications

Article Info

Article History
Received: 03.09.2023
Accepted: 12.10.2023
Published: 31.12.2023

Keywords: Maximum likelihood, Nakagami distribution, Particle swarm optimization, Monte-Carlo simulation.

ABSTRACT

The Nakagami distribution originated to model the fading of radio signals and is widely used in various disciplines. In this study, the maximum likelihood (ML) estimation method is used to estimate the shape and scale parameters of the distribution. However, there are no explicit solutions to the likelihood equations for this distribution. Therefore, three main algorithms, the particle swarm optimization algorithm (PSO), the genetic algorithm (GA), and the quasi-newton (QN) algorithm, have been used to solve these equations. Comparisons of the performances of these algorithms have been made with a comprehensive Monte-Carlo simulation study, taking into account the bias, mean squared error (MSE), and deficiency (DEF) criteria. The model has been applied to four real data sets in order to demonstrate its usefulness.

Atıf/Citation: Faouri, A. & Kasap, P. (2023). Maximum likelihood estimation for the Nakagami distribution using particle swarm optimization algorithm with applications, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*, 5(2), 209-218. https://doi.org/10.47112/neufmbd.2023.19

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

INTRODUCTION

The Nakagami distribution was initially introduced in 1960 to model radio signal fade [1]. This distribution is later used as a model of a wide range of data signals sent by radar objects [2]. It is utilized to simulate a range of data in the communication engineering area in various published research studies in the literature [3, 4]. Additionally, the Nakagami distribution has been effectively applied in a number of different areas, such as hydrology [5, 6], and to model failure times of a variety of electrical components in engineering fields; furthermore, in the healthcare area, to model the time occurrence of tumors and the appearance of lung cancer [7, 8], as well as to model ultrasound data for medical images [9, 10]. Moment estimators for Nakagami distribution were found by [11] and maximum likelihood estimators were found by [12, 13] and demonstrated how the ML-based estimators performed better than the most well-known moment-based estimator after their performance compared to each other. Schwartz et al. (2013) estimated the shape parameter using the improved maximum likelihood estimation method [14]. However, the scale parameter of the Nakagami distribution is estimated by [15] using the Bayesian estimation method. Other Nakagami distribution estimators have been examined and contrasted by using Monte-Carlo simulation [16] and some general characteristics of Nakagami-m distribution are presented by [17]. The core idea of the ML method is to determine the estimate values for the relevant parameters that maximize the likelihood function of the model; however, since nonlinear functions are usually involved, an explicit solution is barely possible, so iterative numerical techniques are therefore required to maximize the likelihood function [18]. The Newton-Raphson algorithm is a popular traditional iterative algorithm for solving equation systems generated by partial derivations of the likelihood function. It's used to find ML estimators numerically, as seen in the literature. However, it only works for functions that can be differentiated at least twice since it employs a gradient-based search technique to identify the optimal parameter values based on the inverse of the hessian matrix. However, every conventional numerical algorithm begins with a point that is chosen at random and continues iteratively to the global optimum, with no guarantee of getting stuck at the local optimum points [19]. The use of well-known meta-heuristic algorithms like particle swarm optimization (PSO) and genetic algorithm (GA) is advised to prevent these problems and ensure that the global optimal solution is reached with greater ease and without reliance on the derivation [20]. However, in large-scale optimization problems, Quasi-Newton (QN), which is another conventional technique, is more efficient than Newton's method since it doesn't require computing second derivatives, which lowers the cost of calculation. So, the key objective of this paper is to determine the most appropriate algorithm from PSO, GA, and QN for estimating the shape (α) and scale (λ) parameters of the Nakagami distribution by a comparison based on the conduct of a comprehensive Monte-Carlo simulation study as well as demonstrate the practicality of this distribution.

The remaining sections of this work will be arranged as follows: Section (2) discusses the Nakagami distribution and its basic properties. In Section (3), the ML estimation method for PSO, GA, and QN is covered. An extensive Monte-Carlo simulation study is performed to compare the performance of the parameter estimators in Section (4). Four applications using real-world datasets are carried out in Section (5). In Section (6), the study provides multiple conclusions.

Nakagami Distribution

If we have a random variable, *Y*, that is gamma-distributed with the following probability density function (pdf).

$$f(y;k,\theta) = \frac{1}{\Gamma(k)\theta^k}\, y^{k-1}e^{-\frac{y}{\theta}}, \qquad y > 0, k > 0, \theta > 0 \tag{1}$$

where Γ is the gamma function, k is the shape parameter and θ is the scale parameter, and then $X = \sqrt{Y}$ follows a two-parameter Nakagami distribution, $X \sim Nakagami\ (\alpha,\lambda)$, with shape parameters $\alpha = k$ and scale parameter $\lambda = k\theta$ as in the following probability density function (pdf).

$$f(x;\alpha,\lambda)=\frac{2\alpha^{\alpha}}{\Gamma(\alpha)\lambda^{\alpha}}\,x^{2\alpha-1}e^{\left(-\frac{\alpha x^2}{\lambda}\right)},\qquad x>0,\alpha>0.5,\lambda>0 \tag{2}$$

X's cumulative distribution function (cdf) is:

$$F(x;\alpha,\lambda)=\frac{1}{\Gamma(\alpha)}\,\gamma\left(\alpha,\frac{\alpha}{\lambda}x^2\right). \tag{3}$$

where γ is the regularized (lower) incomplete gamma function. If we have another random variable, Z, that is chi-square distributed with an integer-valued parameter equivalent to 2α, then the random variable $U=\sqrt{(\lambda/2\alpha)Z}$ follows Nakagami distribution with parameters α and λ. Furthermore, the Nakagami distribution is related to other distributions, such as if $\alpha=0.5$, it becomes a half-normal distribution, and when $\alpha=1$ it becomes a Rayleigh distribution. The plots of the Nakagami distribution for different values of α and λ are shown in Figure 1. The Nakagami distribution's k^{th} moment general formula is given below.

$$E\left(X^k\right)=\frac{\Gamma\left(\alpha+\frac{k}{2}\right)}{\Gamma(\alpha)}\left(\frac{\lambda}{\alpha}\right)^{\frac{k}{2}} \tag{4}$$

By using formula (4), the mean and variance of the random variable *X* can be calculated as follows:

$$E(X)=\frac{\Gamma\left(\alpha+\frac{1}{2}\right)}{\Gamma(\alpha)}\left(\frac{\lambda}{\alpha}\right)^{\frac{1}{2}} \tag{5}$$

$$Var\,(X)=\lambda-\left[\frac{\Gamma\left(\alpha+\frac{1}{2}\right)}{\Gamma(\alpha)}\left(\frac{\lambda}{\alpha}\right)^{2}\right]=\lambda\left[1-\frac{1}{\alpha}\left(\frac{\Gamma\left(\alpha+\frac{1}{2}\right)}{\Gamma(\alpha)}\right)^{2}\right] \tag{6}$$

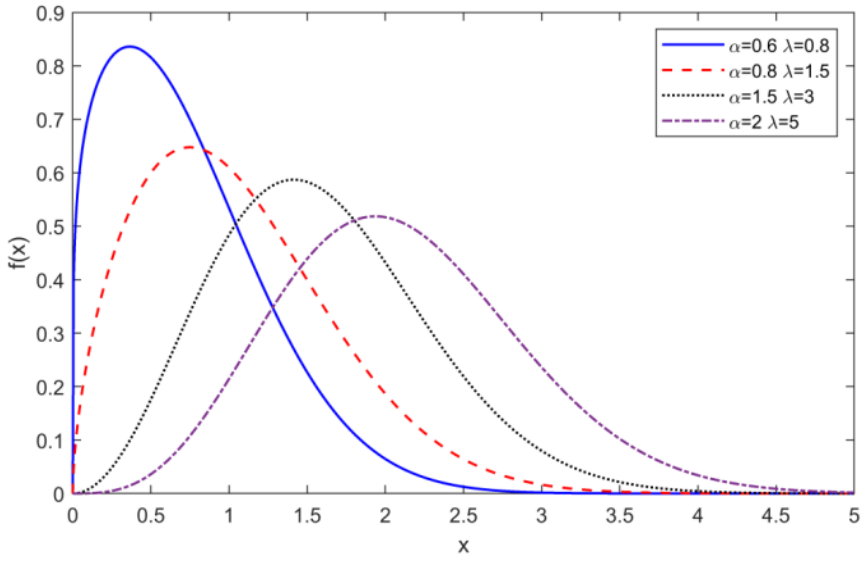


Figure 1. *Nakagami pdf for different values of α and λ*

Obtaining the values that maximize the likelihood function to its maximum is the basis for this method; commonly, the likelihood function's logarithm is applied to simplify the calculations; this is considered the study model. To estimate the unknown parameters for the Nakagami distribution in this study, the log-likelihood (log *L*) function is presented below.

$$\log L(\alpha,\lambda) = nlog(2) + n\alpha log(\alpha) - nlog\Gamma(\alpha) - n\alpha log(\lambda) + (2\alpha - 1)\sum_{i=1}^{n} log(x_i) - \frac{\alpha}{\lambda}\sum_{i=1}^{n} {x_i}^2 \quad (7)$$

To estimate the likelihood parameters of the log L function for the Nakagami distribution, the partial derivatives corresponding to the parameters under consideration are determined and set to zero. The likelihood equations are given as follows:

$$\frac{\partial\, log\, L(\alpha,\lambda)}{\partial\alpha} = \frac{n^2}{\alpha} - n\frac{\partial log\Gamma(\alpha)}{\partial\alpha} - nlog(\lambda) + 2\sum_{i=1}^{n} log(x_i) - \frac{1}{\lambda}\sum_{i=1}^{n} {x_i}^2 = 0 \quad (8)$$

and

$$\frac{\partial\, log\, L(\alpha,\lambda)}{\partial\lambda} = \frac{n\alpha}{\lambda} + \frac{\alpha}{\lambda^2}\sum_{i=1}^{n} {x_i}^2 = 0 \Rightarrow \hat{\lambda} = \frac{\sum_{i=1}^{n} {x_i}^2}{n} \quad (9)$$

It is unlikely to find an explicit solution to the likelihood equation for estimating the shape parameter α since it contains a nonlinear function, as illustrated by the equation (8). Iterative numerical techniques are therefore necessary to get ML estimations for parameter α. The next subsections provide a brief introduction to the highly efficient algorithms PSO, GA, and QN that are used in this study as numerical techniques for estimating the likelihood estimators for the Nakagami distribution.

Particle Swarm Optimization (PSO)

PSO is a population-based heuristic algorithm that was initially proposed in 1995 by Kennedy and Eberhart [21]. It is based on a simulation of the swarming behavior of birds. With this algorithm, which has a wide range of applications in the literature [22, 23], every solution is referred to as a particle and any group of solutions is referred to as a population. The PSO method's fundamental concept can be stated as a procedure that involves continually traveling a swarm of particles in a defined search space with respect to a set of formulas until finally obtaining the ideal answer [24]. Considering there are n dimensions in the search space, Every particle i in the swarm has a position and velocity vectors $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})$ and, $V_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{in})$, $i = 1,2,\dots,m$ respectively, where m is the amount of particles. In PSO, the initial solutions are represented by the population of particles' initial positions randomly generated during the first iteration of their search over a multidimensional search space. The fitness value for the main study's model, represented by the log L function, is used to evaluate each particle's position, and the best position that's equivalent to the fitness function's highest value for each particle is then determined and called the "personal best" (*pbest*). After that, the best position along with all the particles according to the best fitness value of all particles is found and called the "global best" (*gbest*). Then each particle's position is updated by the following equation:

$$V_i^{k+1} = \omega V_i^k + c_1 R_{rand_1}\left(pbest_i^k - X_i^k\right) + c_2 R_{rand_2}\left(gbest^k - X_i^k\right) \quad (10)$$

and each particle's velocity is updated by the following equation

$$x_i^{k+1} = x_i^k + V_i^{k+1}\,. \quad (11)$$

Where V_i^k velocity of particle i at iteration k, ω inertia weight parameter, c_1, c_2 acceleration coefficients, R_{rand_1}, R_{rand_2} random numbers uniformly distributed between 0 and 1, X_i^k position of particle i at iteration k, $pbest_i^k$ best position of particle i until iteration k, $gbest^k$ best position of the group until iteration k. Until convergence is achieved, this process will continue.

Genetic Algorithm (GA)

The GA is a powerful technique for finding highly precise, approximate solutions to optimization problems that is based on the law of natural selection and Darwinian evolution. John Holland initially introduced

it [25], and David Goldberg [26] thoroughly investigated it. Every solution is a chromosome, and every set of solutions (chromosomes) is a population. Initializing the GA algorithm involves creating a population at random once the fitness function, search space, and initial GA fixed parameters have been determined. Each chromosome in the population has its fitness value evaluated; the highest-scoring chromosomes are chosen as the best and the lowest-scoring chromosomes are replaced with new, randomly-generated individuals. A specific amount of elite chromosomes is chosen and transferred unchanged to the next generation, and the two chromosomes with the highest score are considered the parents of the other individuals. The processes of crossover and mutation are then carried out to produce a new, more desirable offspring. The mutation phase is critical to avoiding becoming stuck in the local optimum, which indicates exploration. This technique will be repeated until convergence is reached.

Quasi-Newton (QN)

The Quasi-Newton (QN) is a well-known type of conventional algorithm for unconstrained nonlinear numerical optimization problems that uses a quadratic approximation to find the global minimum of the objective function. It was invented by William Davidon [27], and it is regarded as a modified algorithm version of the Newton method with enhanced computing efficiency, which saves time and costs while computing partial derivatives in each iteration [28]. Like any other conventional algorithm, it starts with a carefully selected initial point, and then the gradient of the objective function, which is the same as the log L function in this study, is calculated to identify the search direction. The step size for each iteration is calculated by continuously updating the inverse Hessian matrix approximation and determining if the further approximated point is optimal or not. This process is continuing until the convergence requirements are satisfied. For more details, see [29-34].

Monte-Carlo Simulations Study

This section contains the simulated results of the Monte Carlo simulation study for a variety of sample sizes. Using iterative techniques such as PSO, GA, and QN, the performance of the ML estimators of the model parameters is compared. Matlab R2021a software is used for performing all the calculations for the simulation study. All the simulations are based on 2000 executions for Monte Carlo runs. The shape α and scale λ parameters are considered to be 0.6 and 0.8, respectively, for a number of sample sizes n that are taken to be 10, 20, 30, 40, and 60 in a search space ranging from 0 to 20. The simulations' resulting estimates for the shape and scale parameters are denoted, respectively, by $\hat{\alpha}$ and $\hat{\lambda}$. The mathematical formulas (12–16) below are used to simulate the mean, bias, mean square error (MSE), and deficiency (Def) values, which are used for comparing and evaluating the performance of the estimators.

$$Mean\left(\hat{\theta}\right) = \frac{\sum_i^n \hat{\theta}_i}{n} \tag{12}$$

$$Bias\left(\hat{\theta}\right) = E\left(\hat{\theta}\right) - \theta \tag{13}$$

$$Var\left(\hat{\theta}\right) = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(\hat{\theta}_i - Mean\,\hat{\theta}\right)^2 \tag{14}$$

$$MSE\left(\hat{\theta}\right) = Var\left(\hat{\theta}\right) + \left(Bias\left(\hat{\theta}\right)\right)^2 \tag{15}$$

$$Def\left(\hat{\alpha}, \hat{\lambda}\right) = MSE(\hat{\alpha}) + MSE\left(\hat{\lambda}\right) \tag{16}$$

where $\theta = (\alpha, \lambda) \in R \times R^+$. The resulting simulated values of mean, bias, MSE, and Def for $\hat{\alpha}$ and $\hat{\lambda}$ are given in Table 1. The simulated values demonstrate that the PSO gives the best results when compared with the GA and QN algorithms. Considering the bias simulation results, it is seen that the least biased values of the shape parameter estimator $\hat{\alpha}$ for nearly all sample sizes are produced by the QN algorithm. With regard to MSE values for the shape parameter estimator $\hat{\alpha}$, it is quite apparent that PSO estimator values perform better than other algorithms for all n values. Also, it's clear that when sample size increases, the MSE values of GA improve to be so close to the PSO values, and in all cases, the PSO and GA MSE have better values than QN. Therefore, the

PSO indicates greater performance in accordance with the Def criteria, with the lowest values for all cases. This enables us to state that the PSO algorithm is efficient in estimating the shape parameter for the Nakagami distribution.

Table 1. *Simulated Mean, Bias, MSE, and Def values for the ML estimators* $\hat{\alpha}$ *and* $\hat{\lambda}$.

		$\hat{\alpha}$			$\hat{\lambda}$			
n	Method $\alpha = 0.6, \lambda = 0.8$	Mean	Bias	MSE	Mean	Bias	MSE	Def
10	PSO	0.5560	-0.0440	0.0672	0.8109	0.0109	0.1094	0.1766
	GA	0.8089	0.2089	0.2241	0.8109	0.0109	0.1094	0.3335
	QN	0.7916	0.1916	0.2297	0.8109	0.0109	0.1094	0.3391
20	PSO	0.5246	-0.0754	0.0176	0.8069	0.0069	0.0537	0.0713
	GA	0.6870	0.0870	0.0471	0.8069	0.0069	0.0537	0.1008
	QN	0.6764	0.0764	0.0502	0.8069	0.0069	0.0537	0.1039
30	PSO	0.5176	-0.0824	0.0133	0.8018	0.0018	0.0356	0.0488
	GA	0.6576	0.0576	0.0281	0.8018	0.0018	0.0356	0.0637
	QN	0.6509	0.0509	0.0299	0.8018	0.0018	0.0356	0.0655
40	PSO	0.5161	-0.0839	0.0113	0.8012	0.0012	0.0261	0.0375
	GA	0.6409	0.0409	0.0164	0.8012	0.0012	0.0261	0.0425
	QN	0.6364	0.0364	0.0176	0.8012	0.0012	0.0261	0.0437
60	PSO	0.5129	-0.0871	0.0102	0.8032	0.0032	0.0185	0.0286
	GA	0.6276	0.0276	0.0108	0.8032	0.0032	0.0185	0.0293
	QN	0.6251	0.0251	0.0114	0.8032	0.0032	0.0185	0.0299

APPLICATIONS

In this section, in order to demonstrate the Nakagami distribution's flexibility, four real datasets are modeled using it. The unknown parameters are estimated via the PSO algorithm. The modeling performance of the Nakagami distribution is evaluated in comparison with the performance of various distinct classical distributions using well-known criteria, including log-likelihood values, the Akaike Information Criterion (AIC), and the corrected AIC (AICc). For more details on these criteria, see [35].

$$AIC = 2P - 2\,log\,L \tag{17}$$

$$AIC_c = AIC + \frac{2P(P+1)}{n-P-1} \tag{18}$$

where $log\ L$, n, and p represent the likelihood function, the number of observations, and the total number of model parameters, respectively. It is stated to be the best-fit model when the probability model satisfies those criteria with the lowest values compared to other probability distributions.

Dataset 1: The Wheaton river data

This dataset consists of 72 exceedances of flood peaks (in m^3/s) of the Wheaton River near Carcross in Yukon Territory, Canada, for the years 1958–1984. It was considered for the hydrology field in the literature [27, 36, 37] and is given in Table 2. The Nakagami distribution is compared to several well-known classical distributions in Table 3 below, utilizing the log L, AIC, and AICc criteria for modeling performance. Furthermore, the results show that the Nakagami distribution performs better than other distributions.

Table 2. The Wheaton River data

1.7	1.4	0.6	9.0	5.6	1.5	2.2	18.7	2.2	1.7	30.8	2.5
14.4	8.5	39.0	7.0	13.3	27.4	1.1	25.5	0.3	20.1	4.2	1.0
0.4	11.6	15.0	0.4	25.5	27.1	20.6	14.1	11.0	2.8	3.4	20.2
5.3	22.1	7.3	14.1	11.9	16.8	0.7	1.1	22.9	9.9	21.5	5.3
1.9	2.5	1.7	10.4	27.6	9.7	13.0	14.4	0.1	10.7	36.4	27.5
12.0	1.7	1.1	30.0	2.7	2.5	9.3	37.6	0.6	3.6	64.0	27.0

Table 3. *Parameter estimates, log L, AIC and AICc, values for Wheaton river data.*

	$\hat{\mu}$	$\hat{\alpha}$	$\hat{\lambda}$	*-log L*	AIC	AICc
Nakagami	-	0.3241	298.063	251.2767	506.5534	506.7273
Gamma	-	0.8383	14.5588	251.344	506.688	506.8619
Weibull	-	0.9012	11.6322	251.499	506.998	507.1719
Lognormal	1.7981	-	1.4169	256.215	516.43	516.6039
Log-logistic	1.9107	-	0.8246	257.839	519.678	519.8519
Inverse Gaussian	-	2.2459	12.2042	267.228	538.456	538.6299
logistic	10.6372	-	6.60488	279.958	563.916	564.0899
Normal	12.2042	-	12.2972	282.338	568.676	568.8499
Extreme Value	19.014	-	16.6415	303.92	611.84	612.0139
Rayleigh	-	-	12.2078	302.838	607.676	607.7331

Dataset 2: The tensile strength

This dataset consists of the tensile strength (in GPa) of 69 carbon fibers evaluated under stress at 20-mm gauge lengths. This dataset consists of the tensile strength (in GPa) of 69 carbon fibers evaluated under stress at 20-mm gauge lengths. This dataset was used by Bader and Priest in 1982 [38] and is given in Table 4. The Nakagami distribution is contrasted with a number of well-known distributions in Table 5 below using the considered modeling performance criteria, and the results show that the Nakagami distribution provides a better fit than others.

Table 4. *The tensile strength*

1.312	1.314	1.479	1.552	1.700	1.803	1.861	1.865	1.944	1.958
1.966	1.997	2.006	2.021	2.027	2.055	2.063	2.098	2.140	2.179
2.224	2.240	2.253	2.270	2.272	2.274	2.301	2.301	2.359	2.382
2.382	2.426	2.434	2.435	2.478	2.490	2.511	2.514	2.535	2.554
2.566	2.570	2.586	2.629	2.633	2.642	2.648	2.684	2.697	2.726
2.770	2.773	2.800	2.809	2.818	2.821	2.848	2.880	2.954	3.012
3.067	3.084	3.090	3.096	3.128	3.233	3.433	3.585	3.858	

Table 5. *Parameter estimates, log L, AIC and AICc, values for the tensile strength's data.*

	$\hat{\mu}$	$\hat{\alpha}$	$\hat{\lambda}$	*-log L*	AIC	AICc
Nakagami	-	6.0395	6.2801	50.3933	104.7866	104.9684
Gamma	-	22.8047	0.1077	50.9856	105.9712	106.153
Log-logistic	0.8883	-	0.1187	51.4346	106.8692	107.051
Weibull	-	5.2702	2.6585	51.7165	107.433	107.6148
Lognormal	0.8762	-	0.2161	52.1663	108.3326	108.5144
Inverse Gaussian	-	51.9864	2.4553	52.2804	108.5608	108.7426
Extreme Value	2.7089	-	0.5202	57.5372	119.0744	119.2562
Rayleigh	-	-	1.7720	87.4975	176.995	177.0547

Dataset 3: Failure Times of 84 Aircraft Windshield

This dataset concerns the investigation of 84 windshields' failure times for a certain type of aircraft, which was originally covered by Ramos et al. [39] and is given in Table 6. Using the discussed modeling performance criteria, the Nakagami distribution is compared against a number of common distributions in Table 7 below, and results demonstrate that it has a better fit than others.

Table 6. *Failure times of 84 aircraft windshield*

0.040	1.866	2.385	3.443	0.301	1.876	2.481	3.467	0.309	1.899	2.610	3.478
0.557	1.911	2.625	3.578	0.943	1.912	2.632	3.595	1.070	1.914	2.646	3.699
1.124	1.981	2.661	3.779	1.248	2.010	2.688	3.924	1.281	2.038	2.823	4.035
1.281	2.085	2.890	4.121	1.303	2.089	2.902	4.167	1.432	2.097	2.934	4.240
1.480	2.135	2.962	4.255	1.505	2.154	2.964	4.278	1.506	2.190	3.000	4.305
1.568	2.194	3.103	4.376	1.615	2.223	3.114	4.449	1.619	2.224	3.117	4.485
1.652	2.229	3.166	4.570	1.652	2.300	3.344	4.602	1.757	2.324	3.376	4.663

Table 7. *Parameter estimates, log L, AIC and AICc, values for Failure Times of 84 Aircraft Windshield's data.*

	$\hat{\mu}$	$\hat{\alpha}$	$\hat{\lambda}$	*-log L*	AIC	AIC_C
Nakagami	-	1.1960	7.7774	130.9964	270.996	271.1441
Extreme Value	3.1188	-	1.0633	133.4980	277.874	278.0221
Gamma	-	3.4922	0.7323	136.9370	283.162	283.3101
Log-logistic	0.8718	-	0.3102	139.5810	311.846	311.9941
Lognormal	0.7891	-	0.6910	153.923	369.114	369.2621
Inverse Gaussian	-	2.3595	2.5575	182.557	270.996	271.1441

Dataset 4: Strengths of glass fibers

The fiber glass data, which consists of breaking strengths of 63, is widely used in statistical literature, and this dataset was first given by Smith and Naylor [40] and is given in Table 8. The Nakagami distribution is compared to other common distributions in Table 9 below using the previously used modeling performance criteria, and the findings show that it has greater fit than rivals.

Table 8. *Strengths of glass fibres.*

0.55	0.93	1.25	1.36	1.49	1.52	1.58	1.61	1.64
1.68	1.73	1.81	2	0.74	1.04	1.27	1.39	1.49
1.53	1.59	1.61	1.66	1.68	1.76	1.82	2.01	0.77
1.11	1.28	1.42	1.5	1.54	1.6	1.62	1.66	1.69
1.76	1.84	2.24	0.81	1.13	1.29	1.48	1.5	1.55
1.61	1.62	1.66	1.7	1.77	1.84	0.84	1.24	1.3
1.48	1.51	1.55	1.61	1.63	1.67	1.7	1.78	1.89

Table 9. *Parameter estimates, log L, AIC and AICc, values for Strengths of glass fibres's data.*

	$\hat{\mu}$	$\hat{\alpha}$	$\hat{\lambda}$	*-log L*	AIC	AIC_C
Nakagami	-	5.0427	2.3739	20.8435	45.6870	45.8870
Log-logistic	0.4228	-	0.1262	22.7900	49.5800	49.7800
Gamma	-	17.4396	0.0864	23.9515	51.9030	52.1030
Lognormal	0.3811	-	0.2599	28.0089	60.0178	60.2178
Inverse Gaussian	-	21.5608	1.5068	28.6708	61.3416	61.5416
Rayleigh	-	-	1.08948	49.7909	101.5818	101.6474

CONCLUSIONS

In this study, the estimation of the shape and scale parameters of the Nakagami distribution is considered. The ML estimates of the Nakagami distribution are obtained via three iterative algorithms, which are PSO, GA, and QN, because of the complexity of the nonlinear likelihood equation of the shape parameter, and then the performances of the selected algorithms are compared to each other with respect to bias, MSE, and Def criteria by conducting a Monte Carlo simulation study. Simulation results show that the PSO is the most efficient iterative algorithm in terms of considered criteria in all cases, especially for small sample sizes, and as the sample size increases, the performance of GA improves to get close to the PSO algorithm results. To show the flexibility of the Nakagami distribution, four real datasets are employed to fit the Nakagami distribution, and the results demonstrate high performance for the Nakagami distribution in comparison with many well-known statistical distributions such as gamma, Weibull, log-logistic, and others.

REFERENCES

[1] M. Nakagami, The m-distribution—A general formula of intensity distribution of rapid fading, *Statistical Methods in Radio Wave Propagation*, Pergamon. (1960), 3-36. doi: 10.1016/b978-0-08-009306-2.50005-4

[2] R.V. Ostrovityanov, F.A. Basalov, The Statistical Theory of Radar Extended Targets. Radio and Communication, Moscow, 1982.

[3] W.C. Lee, Mobile Cellular Telecommunications Systems. *McGraw-Hill, Inc*, New York, 1990.

[4] D. Drajic, Introduction to statistical theory of telecommunications. *Academic Science,* Belgrade, Serbia, 2006.

[5] S. Sarkar, N.K. Goel, B.S. Mathur, Adequacy of Nakagami-m distribution function to derive GIUH. *Journal of Hydrologic Engineering*, 14(10) (2009), 1070-1079. doi: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000103

[6] S. Sarkar, N.K. Goel, B.S. Mathur, Performance investigation of Nakagami-m distribution to derive flood hydrograph by genetic algorithm optimization approach. *Journal of Hydrologic Engineering*. 15(8) (2010), 658-666. doi: 10.1061/(asce)he.1943-5584.

[7] A. Oyetunde, On the introduction of location parameter to Nakagami-m distribution. *International Journal of Statistics and Applied Mathematics*. 3(4) (2018), 147-154

[8] D. Ozonur, H.T.K. Akdur, H. Bayrak, Optimal asymptotic tests for Nakagami distribution. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 22 (2018), 487-492. doi:10.19113/sdufbed.32458

[9] P.M. Shankar, C.W. Piccoli, J.M. Reid, F. Forsberg, B.B. Goldberg, Application of the compound probability density function for characterization of breast masses in ultrasound B scans. *Physics in Medicine & Biology*,. 50(10) (2005), 2241.

[10] P.H. Tsui, C.C. Huang, S.H. Wang, Use of Nakagami distribution and logarithmic compression in ultrasonic tissue characterization. *Journal of Medical and Biological Engineering*. 26(2) (2006), 69-73.

[11] J. Cheng, N.C. Beaulieu, Generalized moment estimators for the Nakagami fading parameter. *IEEE Communications Letters*. 6(4) (2002), 144-146.

[12] J. Cheng, N.C. Beaulieu, Maximum-likelihood based estimation of the Nakagami m parameter. *IEEE Communications Letters*. 5(3) (2001), 101-103.

[13] V.M. Artyushenko, V.I. Volovach, Nakagami distribution parameters comparatively estimated by the moment and maximum likelihood methods. *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*. *55* (2019), 237-242.

[14] J. Schwartz, R.T. Godwin, D.E. Giles, Improved maximum-likelihood estimation of the shape parameter in the Nakagami distribution. *Journal of Statistical Computation and Simulation*. 83(3) (2013), 434-445.

[15] A. Abdi, M. Kaveh, Performance comparison of three different estimators for the Nakagami m parameter using Monte Carlo simulation. *IEEE communications Letters*. 4(4) (2000), 119-121.

[16] K. Ahmad, S.P. Ahmad, A. Ahmed, Classical and Bayesian approach in estimation of scale parameter of Nakagami distribution. *Journal of Probability and Statistics*. *2016*.

[17] H.Stefanovic, A. Savic, Some general characteristics of Nakagami-m distribution. In *1st International Symposium on Computing in Informatics and Mathematics (ISCIM 2011).* Tirana, 2011, 695-705.

[18] F. Bartolucci, L. Scrucca, Point estimation methods with applications to item response theory models. In *International Encyclopedia of Education. 3rd edition* Oxford: Elsevier, 2010, 366-373. doi: 10.1016/B978-0-08-044894-7.01376-2

[19] D.K. Pratihar, Traditional vs non-traditional optimization tools. In: Basu K (ed) Computational Optimization and Applications, Narosa Publishing House Pvt. Ltd, New Delhi, 2012, 25-33.

[20] P. Sreenivas, K. Vijaya, A review on non-traditional optimization algorithm for simultaneous scheduling problems. *Journal of Mechanical and Civil Engineering*. 12(2) (2015), 50-53. doi:10.9790/1684-12225053

[21] J. Kennedy, R. Eberhart, Particle swarm optimization. In *Proceedings of ICNN'95-international conference on neural networks*, 4, 1995, 1942-1948. IEEE.

[22] C. Ren, N. An, J. Wang, L. Li, B. Hu, D. Shang, Optimal parameters selection for BP neural network based

on particle swarm optimization: A case study of wind speed forecasting. *Knowledge-based Systems*. 56 (2014), 226-239. doi: 10.1016/j.knosys.2013.11.015

[23] M.H. Ab Talib, I.Z. Mat Darus, Intelligent fuzzy logic with firefly algorithm and particle swarm optimization for semi-active suspension system using magneto-rheological damper. *Journal of Vibration and Control*. *23*(3) (2017), 501-514. doi: 10.1177/1077546315580693

[24] S.F.A.X. Júnior, É.F.M. Xavier, J. da Silva Jale, T.A. de Oliveira, A.L.C. Sabino, An application of Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm with daily precipitation data in Campina Grande, Paraíba, Brazil. *Research, Society and Development*. 9(8) (2020), e444985841-e444985841. doi:10.33448/rsd-v9i8.5841

[25] J.H. Holland, Adaptation in Natural and Artificial System: an Introduction with Application to Biology, *Control, and Artificial Intelligence*, University of Michigan Press, Ann Arbor, 1975.

[26] D.E. Goldberg, *Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning.* Reading, MA: Addison-Wesley, 1989.

[27] W.C. Davidon, Variable metric method for minimization. *SIAM Journal on Optimization*. 1(1) (1991), 1-17. doi:10.1137/0801001

[28] J.M. Martınez, Practical quasi-Newton methods for solving nonlinear systems. *Journal of computational and Applied Mathematics*. 124(1-2) (2000), 97-121. doi:10.1016/S0377-0427(00)00434-9

[29] C.G. Broyden, Quasi-Newton methods and their application to function minimisation. *Mathematics of Computation*. 21(99) (1967), 368-381.

[30] R. Fletcher, M.J. Powell, A rapidly convergent descent method for minimization. *The Computer Journal*. 6(2) (1963), 163-168.

[31] J.C. Gilbert, C. Lemaréchal, Some numerical experiments with variable-storage quasi-Newton algorithms. *Mathematical Programming*. 45(1) (1989), 407-435.

[32] C.G. Broyden, The convergence of a class of double-rank minimization algorithms 1. general considerations. *IMA Journal of Applied Mathematics*. 6(1) (1970), 76-90.

[33] R. Fletcher, R. A new approach to variable metric algorithms. *The Computer Journal*. 13(3) (1970), 317-322.

[34] D. Goldfarb, A family of variable-metric methods derived by variational means. *Mathematics of Computation*. 24(109) (1970), 23-26.

[35] D.R. Anderson, K.P. Burnham, G.C. White, Comparison of Akaike information criterion and consistent Akaike information criterion for model selection and statistical inference from capture-recapture studies. *Journal of Applied Statistics*. 25(2) (1998), 263-282. doi: 10.1080/02664769823250

[36] V. Choulakian, M.A. Stephens, Goodness-of-fit tests for the generalized Pareto distribution. *Technometrics*. 43(4) (2001), 478-484.

[37] A. Akinsete, F. Famoye, C. Lee, The beta-Pareto distribution. *Statistics*. 42(6) (2008), 547–563. doi:10.1080/02331880801983876

[38] M.G. Bader, A.M. Priest, Statistical aspects of fibre and bundle strength in hybrid composites. *Progress in Science and Engineering of Composites*. (1982), 1129-1136.

[39] M.W.A. Ramos, P.R.D. Marinho, R.V. da Silva, G.M. Cordeiro, The exponentiated Lomax Poisson distribution with an application to lifetime data. *Advances and Applications in Statistics*. 34(2) (2013), 107.

[40] R.L. Smith, J. Naylor, A comparison of maximum likelihood and Bayesian estimators for the three-parameter Weibull distribution. *Journal of the Royal Statistical Society Series C: Applied Statistics*. 36(3) (1987), 358-369.

Necmettin Erbakan Üniversitesi
Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi
Journal of Science and Engineering (NEJSE)
DOI: 10.47112/neufmbd.2023.20

Cilt: 5 Sayı:2 Yıl: 2023 | Araştırma Makelesi / Research Article | E-ISSN: 2667- 7989

Derin Öğrenme Tabanlı Sıcaklık ve Nem Tahmini

Fatih ÖZEN [1] Rana ORTAÇ KABAOĞLU [2] Tarık Veli MUMCU [3]

[1] Tekirdağ Namık Kemal University, Vocational College of Technical Sciences, Department of Electronics and Automation, Tekirdağ, Türkiye, fozen@nku.edu.tr

[2] İstanbul University-Cerrahpaşa, Faculty of Engineering, Department of Electrical-Elecrtonics Engineering, İstanbul, Türkiye, rana@iuc.edu.tr *(Corresponding Author)*

[2] İstanbul University-Cerrahpaşa, Faculty of Engineering, Department of Electrical-Elecrtonics Engineering, İstanbul, Türkiye, tarik.mumcu@iuc.edu.tr

Makale Bilgileri

Makale Geçmişi
Geliş: 14.07.2023
Kabul: 26.08.2023
Yayın: 31.12.2023

Anahtar Kelimeler:
Sensör Füzyonu, LSTM, Sıcaklık ve Nem Tahmini, PLC, SCADA.

ÖZ

Havanın sıcaklık ve nem parametreleri canlı yaşamı başta olmak üzere tarım, ulaşım gibi birçok alanı etkilemektedir. Bu sebepten dolayı bu parametrelerin gelecekteki değerlerini doğru tahmin etmek önemlidir. Bu çalışmada, Tekirdağ ili Süleymanpaşa ilçesi için oluşturulan model sistem üzerinden ve Meteoroloji İl Müdürlüğünden alınan sıcaklık ve nem veri setleri kullanılarak, derin öğrenme tekniklerinden LSTM algoritmaları ile sıcaklık ve nem tahmini yapılmıştır. Tek sensör üzerinden alınan verilerde gürültü kaynaklı hatalardan dolayı çoklu sensörlerden gelen veriler birleştirilerek veri seti oluşturulmuştur. 2015-2021 yılları arasındaki Tekirdağ Meteoroloji İl Müdürlüğünden alınmış sıcaklık ve nem verileri, oluşturulan model sistem üzerinden alınan 2020 yılına ait sıcaklık ve nem verileri ile sensör füzyonu uygulanarak veri seti elde edilmiştir. Bu veri seti ile 2022 yılına ait sıcaklık ve nem verileri derin öğrenme algoritmaları ile tahmin edilmiştir. Zamana göre sıralı olarak gelen veriler için derin öğrenme algoritmalarından Long Short Term Memories (LSTM) kullanılmıştır. Tahmin edilen veriler yine Tekirdağ Meteoroloji İl Müdürlüğünden alınan 2022 yılına ait gerçek veriler ile karşılaştırılmıştır. Bu tahminde başarı ölçütleri olarak RMSE 1.895, MSE 3.547, R-kare skoru değerinin 0.952 ve MAE 1,614 olarak hesaplanmıştır. Zamana göreli sıralı biçimde gelen verilerde bu algoritmanın kullanılabileceği görülmüştür. Oluşturulan model sistem PLC ve SCADA tabanlıdır.

Deep Learning Based Temperature and Humidity Prediction

Article Info

Article History
Received: 14.07.2023
Accepted: 26.08.2023
Published: 31.12.2023

Keywords:
Sensor Fusion, LSTM, Temperature and Humidity Prediction, PLC, SCADA.

ABSTRACT

The temperature and humidity parameters of the weather influence various fields, including living conditions, agriculture, and transportation. Hence, accurately predicting the future values of these parameters is important. In this study, temperature and humidity forecasts were made using deep learning techniques, specifically LSTM algorithms, through a model system created for the Süleymanpaşa district of Tekirdağ province. Temperature and humidity datasets were obtained from the Meteorology Provincial Directorate and integrated with data from multiple sensors to mitigate errors caused by noise in single-sensor data. Temperature and humidity data from the Tekirdağ Meteorology Provincial Directorate between 2015 and 2021 were merged with the 2020 temperature and humidity data obtained from the model system to create a fused dataset. Using this dataset, temperature and humidity data for the year 2022 were predicted using deep learning algorithms. Long Short-Term Memory (LSTM) algorithms were utilized for sequentially ordered data over time. The predicted data were then compared with actual data from the Tekirdağ Meteorology Provincial Directorate for the year 2022. The success metrics for these predictions were calculated as RMSE of 1.895, MSE of 3.547, an R-squared score of 0.952, and an MAE of 1.614. The results suggest that this algorithm can be employed for sequentially ordered data over time. The model system developed is based on PLC and SCADA technology.

Atıf/Citation: Özen, F.; Ortaç Kabaoğlu, R. & Mumcu, T.V. (2023). Deep Learning Based Temperature and Humidity Prediction, *Necmettin Erbakan University Lournal of Science and Engineering*, *5*(2), 219-229. https://doi.org/10.47112/neufmbd.2023.20

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

INTRODUCTION

Weather parameters, particularly temperature and humidity, play a crucial role in various domains, including life, agriculture, transportation, and more. The global issues of climate change and global warming are impacting many areas of our world. Therefore, it is highly important to accurately predict the future values of temperature and humidity [1].

There are numerous applications developed today that rely on a single type of sensor. However, using a single type of sensor has significant disadvantages. It often leads to partial information about the operating environment, continuous errors due to noise in measurements, and the potential for errors to impact the entire system[2]. Instead of relying on data from a single source, combining and synthesizing data from different sources eliminates these limitations. Overcoming the constraints of data from individual sensors is possible by integrating data from multiple sensors [3]. Sensor fusion operations are complex. Taking the average of data from different sources is referred to as data fusion, which involves combining data from different sources.

The word "fusion" refers to the concepts of merging, merging, sensor coordination, and control [4]. Multiple sensor fusion consists of data fusion, sensor planning, and system architecture. In the upper layer, sensor inputs are accompanied by four auxiliary processes: human-computer interaction, database management, resource pre-processing [5].

Deep learning, also known as deep neural networks, is a machine learning technique that exhibits characteristics similar to the human brain, such as observation, analysis, learning, and decision-making[6]. It can perform tasks like data classification, transformation, and feature identification. Deep learning techniques have found applications in various fields, particularly in computer science. With advancements in computer architecture, algorithm-driven deep learning techniques have reached impressive levels of performance. Unlike classical methods, which often require mathematical expressions, deep learning techniques offer more accurate results and predictions [7].

Deep learning architectures vary depending on the dimension, type, and structure of the input data[8]. Convolutional Neural Networks (CNN), Recurrent Neural Networks (RNN), Restricted Boltzmann Machines (RBM), and Deep Belief Networks (DBN) are among the most commonly used architectures[9].

In the literature, according to the study by Wenshu Zha et al., LSTM algorithms were employed to predict monthly gas production from a gas field, and they determined the success rate [10]. In the work of Jingwei Hou et al., they used a dataset created from 60,133 hours of meteorological data (including temperature, dew point, air pressure, wind direction, wind speed, and cloud amount) obtained from the Yinchuan weather station in China from January 2000 to October 2020. They utilized the LSTM algorithm to make hourly predictions and calculated the success rate [11]. In the study by Karabulut et al., they used meteorological data from the province of Kars between 2010 and 2021 with the LSTM algorithm to make monthly and daily predictions [12].

In this study, temperature and humidity data for the Süleymanpaşa district of Tekirdağ province in Turkey were first obtained from the Tekirdağ Meteorology Provincial Directorate for the years 2015-2021. Temperature and humidity data for the year 2020 were obtained from the created model system. Due to errors in the data from a single sensor, sensor fusion was applied to obtain a dataset. After normalizing the collected data, temperature and humidity predictions for the year 2022 were made using an LSTM algorithm trained on the model. The accuracy of the results was compared with the data obtained from the Tekirdağ Meteorology Provincial Directorate for the year 2022, and a success value was obtained.

MATERIALS AND METHODS

Hardware Infrastructure

In the model system, two PT 100 RTD (Resistance Temperature Detector) sensors and one Dwyer temperature sensor with a 0-10 Volt output were used to measure temperature. PT 100 temperature sensors are preferred in sensitive applications due to their high accuracy and stable outputs. The resistance value

of PT 100 sensors changes by 0.39 Ω for every 1˚C increase or decrease, starting from a resistance value of 100 Ω at 0˚C. The measurement temperature range is from -40°C to +60°C [13]. A Dwyer brand humidity sensor with a 0-10 Volt output was used to measure ambient humidity. The humidity sensor is known for its stable output, sensitivity, and the ability to provide both current and voltage outputs using the built-in DIP switch. These are the key features of the humidity sensor.

The sensors used in this study were connected to the Wago 750-852 model PLC. The Wago 750-852 PLC, designed for Ethernet/IP and Modbus communication, supports all PLC programming languages according to the IEC 61131-3 standard. The Wago PLC and its modules used in the study are shown in Table 1, and the PLC SCADA interface is illustrated in Figure 1.

Table 1. *PLC and modules*

Number	Modul Names	Modul Properties
0	750-852	CPU
1	750-463	4 AI RTD
2	750-430	8 DI 24V DC
3	750-530	8 DO 24V DC
4	750-497	8 AI 0-10 V
5	750-559	4 AO 0-10 V DC
6	750-600	End Module

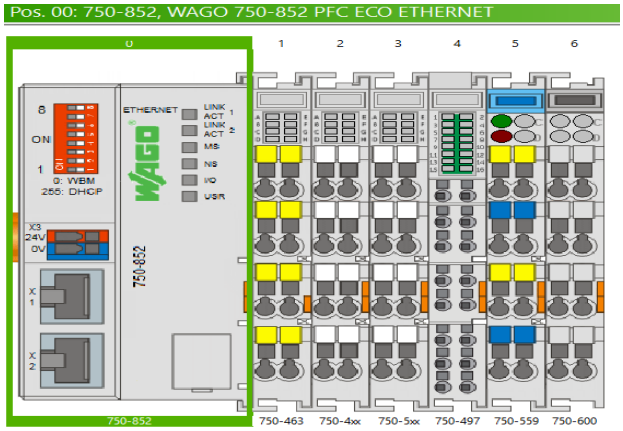


Figure 1. *Wago 750-852 PLC*

The PT100 temperature sensor of the RTD module is connected to the first two inputs of the module, while the other temperature sensor is connected to the first input of the AI module. The humidity sensor used in the model system is connected to the second channel of the 750-497 AI module.

LSTM (Long Short Term Memory)

The Long Short-Term Memory (LSTM) algorithm is a recurrent neural network (RNN)-based deep learning method that was initially introduced by Hochreiter and Schmidhuber [14]. LSTM overcomes the difficulties encountered in training deep learning models. Its key advantage in sequential or time series problems is its ability to learn long-term dependencies and handle memory through its specialized gating mechanism [15].

In the block diagram of the LSTM cell shown in Figure 2, X represents the current inputs, H represents the previous hidden state, and C represents the previous memory state. In the outputs from the LSTM cell, H represents the current hidden state, and C represents the current memory state [16].

In the LSTM architecture, the input gates, denoted as I, are represented by Equation 1, the forget gates, denoted as f, are represented by Equation 2, the memory cells, denoted as Ct, are represented by Equation 3, and the output gates, denoted as Ot, are represented by Equation 4. The LSTM algorithm has been highly successful in time series prediction and classification applications [17].

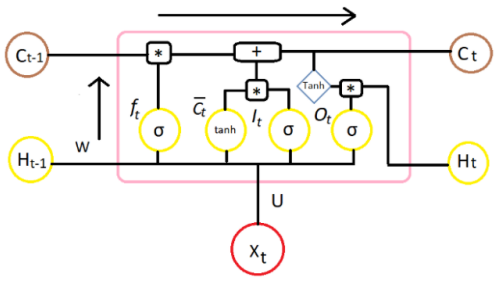


Figure 2. *Block diagram of an LSTM cell at time.*

$$I_t = \sigma(W_{xi}X_t + W_{hi}H_{t-1} + W_{ci}C_{t-1} + b_i) \quad (1)$$

$$ft = \sigma(W_{xf}\,X_t + W_{hf}H_{t-1} + W_{cf}C_{t-1} + b_f) \quad (2)$$

$$Ct = f_t \odot C_{t-1} + I_t \odot \tan H\,(W_{xc}X_t + W_{hc}H_{t-1} + b_c) \quad (3)$$

$$Ot = \sigma(W_{xo}X_t + W_{ho}H_{t-1} + W_{co}C_t + b_o) \quad (4)$$

Preparation of Data

Normalization is the process of making the output data more efficient. The goal at this stage is to ensure the creation of the necessary datasets. In the normalization process, techniques such as Median, Sigmoid, Z-Score, and Min-Max are used[18].

$$z = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad (5)$$

In this study, the Min-Max normalization technique was used. The temperature and humidity data from the Meteorology Tekirdağ Provincial Directorate, covering the years 2015-2021, were obtained along with the data from the model system for the year 2020. To utilize these data for deep learning, the necessary scaling was performed using the min-max formula given in Equation 5, ensuring that the values were scaled between 0 and 1.

Table 2 provides temperature and humidity data for the year 2020. The values in the first and second columns are obtained from Tekirdağ Meteorology Provincial Directorate. The temperature and humidity values in the third and fourth columns are obtained from the PLC and SCADA-based model system that has been developed.

AUTOMATION MODEL

PLCs (Programmable Logic Controllers), which are microprocessor-based devices that perform traditional control functions, are indispensable in industrial systems. Real-time monitoring of processes and storage of data from field equipment are important tasks of SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) systems [19].

The open source editor Codesys, developed by 3SMART, was used to program the PLC used in the model system. Codesys is the common software development editor of several PLC manufacturing companies[20]. The CFC (Continius Function Chart) programming language was used in the temperature and humidity sensor interfaces created for this study.

In the Codesys software interface shown in Figure 3, the average of the values from two PT 100 temperature sensors and one temperature sensor with a 0-10V output is calculated. The first sensor, named Temperature_Sensor1, is connected to the first channel of the RTD module, while Temperature_Sensor2 is connected to the second channel of the same RTD module. The sensor named Temperature_Sensor3 is connected to the first channel of the 750-497 8AI module. To minimize errors caused by noise in data from a single sensor, the average of the values from the three sensors is taken.

Table 1. *Example of the raw data used in the learning model for the year 2020*

No	*Date*	*Temperature (˚C)*	*Humidity (%Rh)*	*Temperature (˚C) Wago*	*Humidity (% Rh) Wago*
1	1.01.2020	4.9	67.2	4.6	67.6
2	2.01.2020	3.9	67.3	4	67.5
3	3.01.2020	4.2	66	4.6	65.6
4	4.01.2020	6.7	60.9	7.1	61.2
5	5.01.2020	5.8	72.6	5.9	72.8
6	6.01.2020	4.9	72.4	4.9	72.1
7	7.01.2020	2.2	76.6	2.1	76.9
8	8.01.2020	1.4	67.8	1.6	67.6
9	9.01.2020	3.3	63.2	3.6	63
10	10.01.2020	4.8	67.8	4.6	68.1
11	11.01.2020	5.8	76.9	6	77
12	12.01.2020	8.3	74	8.6	73.8
13	13.01.2020	5.8	74.2	6	74.6
14	14.01.2020	5	74.3	5.3	74.5
15	15.01.2020	5.8	74.9	5.6	74.5
16	16.01.2020	8.1	70.9	7.8	70.9
17	17.01.2020	7.3	71.8	7.6	72.2
18	18.01.2020	5.9	75.9	5.8	75.9
19	19.01.2020	6.4	71.1	6.3	71
20	20.01.2020	4.5	68.8	4.2	68.4
21	21.01.2020	2.8	67.5	3.1	67.5
22	22.01.2020	2.8	72.9	2.5	72.8
23	23.01.2020	6.2	64.2	6.2	64.5
24	24.01.2020	3.8	63.5	3.6	63.3
25	25.01.2020	5.5	71.3	5.7	71.3
26	26.01.2020	8.8	77	8.9	76.9
27	27.01.2020	9.3	83.8	9.2	84.1
28	28.01.2020	9.9	82.8	10.3	83
29	29.01.2020	9.5	79.4	9.5	79.4
30	30.01.2020	8.6	73.3	8.4	73.1
31	31.01.2020	6.8	67.7	7	67.3

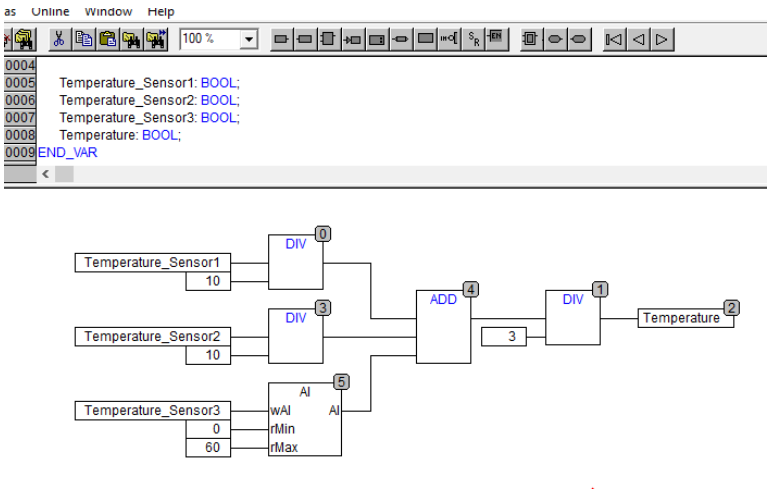


Figure 3. *Codesys temperature measurement interface software*

For reading data from the Dwyer brand 0-10V humidity sensor used in the model system, the interface software created in Codesys is shown in Figure 4. An AI function block is used to convert the sensor's output value to a humidity range of 0 to 100 percent. This block multiplies the incoming value by 100 and divides it by the digital maximum value of 32.768 to calculate the ambient humidity value.

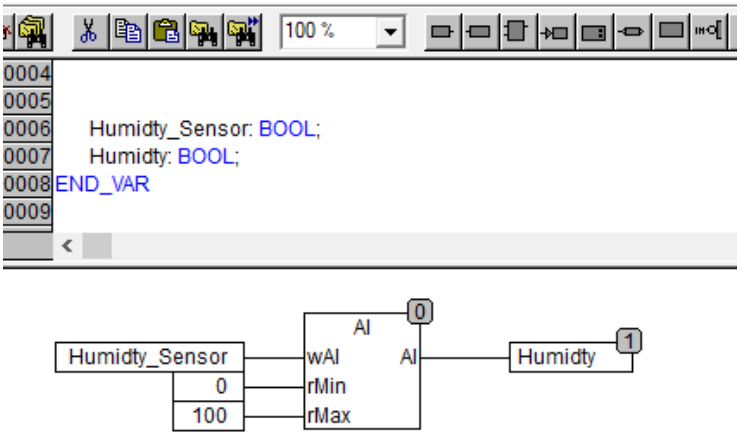


Figure 4. *Codesys humidity measurement interface*

The ambient temperature and humidity data obtained from the Codesys interface were recorded in the database of the Visu SCADA software using the Modbus TCP/IP protocol at ten-minute intervals. The resulting data has been saved in Excel format. The labels created using Visu SCADA are shown in Figure 5. When creating the tags, temperature sensors and humidity sensor are selected as Word data type. According to the Modbus address structure, analog addresses start with zero.

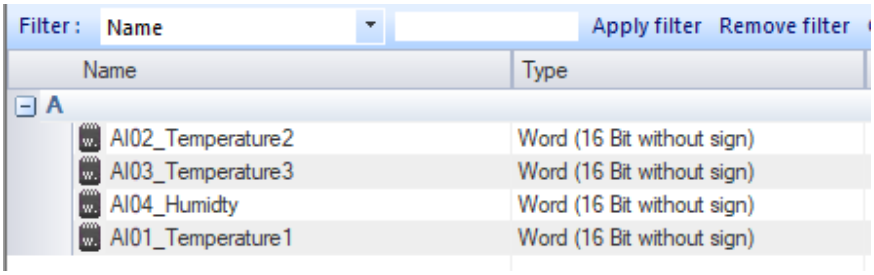


Figure 5. *Visu Scada modbus TCP/IP tags*

The SCADA screen interface created in the Visu-SCADA software, along with these variables, is shown in Figure 6.

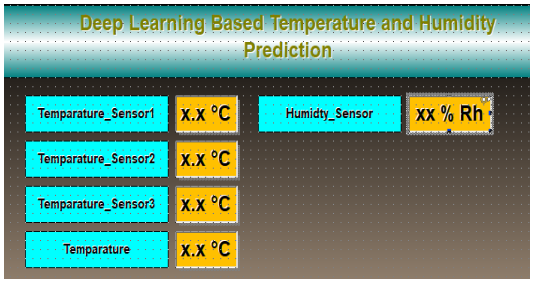


Figure 6. *Visu Scada interface screen*

The development, testing, and prediction processes of the model were carried out using the Tensorflow library in the Python language. Tensorflow is a Python-based library commonly used for machine learning and deep learning models, providing various functionalities [21]. For these processes, the Spyder interface within the Anaconda platform was used.

In the created model system, data for the year 2020 was obtained. The data from 2015 to 2021 was obtained from the Tekirdağ Meteorology Provincial Directorate. These two datasets were combined using sensor fusion. The obtained dataset was imported into a DataFrame using the read_csv function from a CSV file. Real-time graphs can be plotted for the acquired data, and the graphs for the predictions can also be generated. The predictions can be saved in Excel format. To prepare the data and create the desired

prediction graphs, the code block provided in Figure 7 was used.

```
df = pd.read_csv('tekirdag.csv')
df.head()
df['Date'] = pd.to_datetime(df.Date,format='%Y-%m-%d')
df.index = df['Date']
plt1.figure(figsize=(16,8))
plt1.plot(df['Temperatures'], label=Temperatures L)
plt1.ylabel('Data')
plt1.xlabel('Date(01.01.2022- 31.12.2022)')
plt1.title("Temperatures ", y=1.0, loc='left')
```

Figure 7. *Code example*

TRAINING THE MODEL AND FORECASTING

After completing the training, evaluation, and testing processes of the obtained dataset consisting of 2558 rows and 4 columns, the prediction process for the year 2022 was conducted. The prediction included temperature and humidity values for 2022. The graphical representation of the daily average temperature values obtained from the prediction is shown in Figure 8, and the predicted humidity values for the year 2022 are presented in Figure 9.

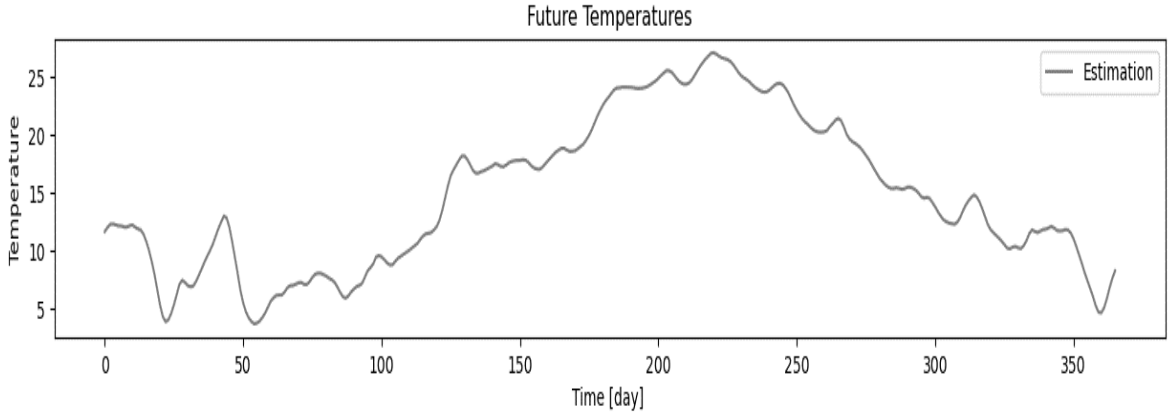


Figure 8. *Graphical display of predicted temperature data for 2022*

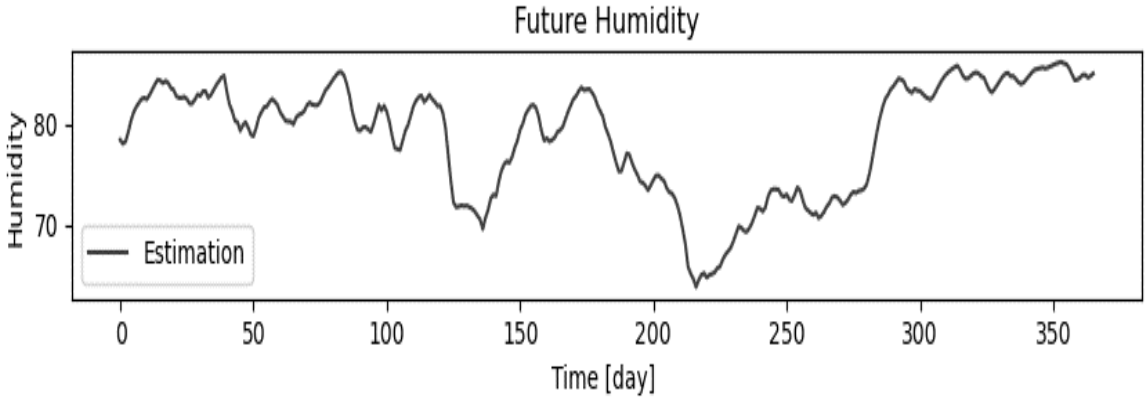


Figure 9. *Graphical display of predicted humidity data for 2022*

The numerical values of the temperature and humidity predictions, along with the corresponding actual values obtained from the Tekirdağ Meteorology Provincial Directorate, for the first three days of each month in 2022 are given in Table 3.

Table 3. *Some predicted values for temperature and humidity for 2022 and real values*

Date	Humidity (Predicted) (%)	Temperature (Predicted) (˚C)	Humidity (Real) (%)	Temperature (Real) (˚C)
1.01.2022	83.3964	8.6950	84.8	7.3
2.01.2022	80.045	11.058	82.5	10.3
3.01.2022	84.245	10.326	83.5	9.5
…				
1.02.2022	73.181	5.935	75.0	5.9
2.02.2022	85.306	6.008	87.2	5.8
3.02.2022	82.562	4.406	82.9	3.7
…				
1.03.2022	75.840	5.201	76.4	6.3
2.03.2022	72.131	3.699	74.8	2.6
3.03.2022	70.717	5.993	70.3	5.1
…				
1.04.2022	79.322	6.734	55.6	16.7
2.04.2022	79.636	6.955	55.5	18.1
3.04.2022	62.673	13.053	61.7	14.9
…				
1.05.2022	75.775	13.159	74.3	14.6
2.05.2022	75.083	13.733	74.6	14.0
3.05.2022	80.627	13.583	82.0	12.4
…				
1.06.2022	76.987	22.895	76.0	22.0
2.06.2022	70.902	22.853	71.9	23.0
3.06.2022	66.357	22.687	65.2	23.6
…				
1.07.2022	70.750	23.996	69.3	24.4
2.07.2022	72.656	24.290	71.0	25.1
3.07.2022	68.987	24.623	66.8	24.7
…				
1.08.2022	68.140	24.750	68.2	26.0
2.08.2022	70.919	25.141	71.8	25.1
3.08.2022	66.225	25.549	67.8	25.6
…				
1.09.2022	76.806	24.964	77.5	25.4
2.09.2022	82.416	24.498	81.2	25.8
3.09.2022	75.552	24.359	77.5	24.4
…				
1.10.2022	76.523	21.927	77.5	21.5
2.10.2022	62.994	22.618	62.8	23.0
3.10.2022	52.284	18.278	55.9	18.8
…				
1.11.2022	81.393	14.553	80.5	14.8
2.11.2022	84.695	14.433	85.2	14.0
3.11.2022	83.223	15.380	82.6	15.0
…				
1.12.2022	87.681	13.522	88.5	12.8
2.12.2022	90.689	11.841	90.4	10.0
3.12.2022	87.400	10.707	88.1	9.2

PERFORMANCE METRICS

In the conducted study, performance metrics such as RMSE (Root Mean Square Error), MSE (Mean Squared Error), R2 (R-squared score), and MAE (Mean Absolute Error) values have been calculated. Where (y)ˆpredicted value of y, y¯mean value of y.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y})^2} \quad (6)$$

$$MSE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y})^2 \quad (7)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(y_i - \hat{y})^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2} \quad (8)$$

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|y_i - \hat{y}| \quad (9)$$

RMSE, expressed by Equation 6, is the square root of the average of squared errors for the predicted values. RMSE, which is a crucial performance criterion, can vary between zero and infinity [22]. The Mean Squared Error (MSE), indicated by Equation 7, is one of the measurement criteria, and its value approaching zero signifies better prediction accuracy [23]. The R-squared score, represented by Equation 8, demonstrates the equality between actual and predicted values and ranges between 0 and 1. The closer this value is to 1, the more successful the prediction [24]. MAE, denoted by Equation 9, quantifies the difference between actual and predicted values. Here, t represents the expected value, and a represents the actual value [25].

In this study, the RMSE value is calculated as 1.895, the MSE value is 3.547, the R-squared value is 0.952, and the MAE value is calculated as 1.614.

CONCLUSIONS

Deep learning has brought significant advancements in solving artificial intelligence problems in recent times. One of the most important reasons for this is the need for large amounts of computation. The contribution of hardware architectures has also led to this development. With advancing technology, sensors can generate and store a vast amount of data. The accuracy of the data obtained through sensor fusion has further improved. A model system based on PLC and SCADA has been established to evaluate the data from sensors. In this model system, temperature and humidity data from the year 2020 have been collected. PLC and SCADA-based systems are indispensable in modern automation systems. Having abundant data is a desirable condition for the accuracy of predictions made using deep neural networks.

In this study, average temperature and humidity data for 2558 days between January 1, 2015, and December 31, 2021, were used. The obtained data was scaled to the range of 0-1 and subjected to min-max normalization. The training, testing, and prediction processes of the deep learning model were carried out using the Spyder interface in the Anaconda platform. In the LSTM model, various techniques were tried by altering the number of neurons and layers, and finally, in the experiment with 4 input dimensions, the best result was achieved with 10 neurons and 2 layers. By training the LSTM neural network that combines data from two different sources, temperature and humidity predictions for 365 days in the year 2022 were made. These predictions were compared with the data obtained from the Tekirdağ Meteorology Provincial Directorate for the year 2022. In this study, the RMSE value is calculated as 1.895, the MSE value is 3.547, the R-squared value is 0.952, and the MAE value is calculated as 1.614. It was observed that successful predictions were obtained as a result. This method can be applied to data obtained over time.

REFERENCES

[1] I. Gupta, H. Mittal, D. Rikhari, A. K. Singh, Mlrm: A multiple linear regression based model for average temperature prediction of a day, arXiv preprint arXiv:2203.05835. (2022). doi:10.48550/arXiv.2203.05835

[2] Z. Ouyang, J. Cui, X. Dong, Y. Li, J. Niu, SaccadeFork: A lightweight multi-sensor fusion-based target detector, *Information Fusion*. *77* (2022), 172-183. doi:10.1016/j.inffus.2021.07.004

[3] M. Andronie, G. Lăzăroiu, M. Iatagan, I. Hurloiu, R. Ștefănescu, A. Dijmărescu, I. Dijmărescu, Big Data Management Algorithms, Deep Learning-Based Object Detection Technologies, and Geospatial Simulation and Sensor Fusion Tools in the Internet of Robotic Things, *ISPRS International Journal of Geo-Information*. *12*(2) (2023), 35. doi: 10.3390/ijgi12020035

[4] X. Chen, T. Zhang, Y. Wang, Y. Wang, H. Zhao, Futr3d: A unified sensor fusion framework for 3d detection, In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (2023), 172-181.

[5] M. Wang, X. Wang, L. T. Yang, X. Deng, L. Yi, Multi-sensor fusion based intelligent sensor relocation for health and safety monitoring in BSNs. *Information Fusion*. *54* (2020), 61-71. doi:10.1016/j.inffus.2019.07.002

[6] H. Orhan, Y. Emrehan, Artificial intelligence-assisted detection model for melanoma diagnosis using deep learning techniques, *Mathematical Modelling and Numerical Simulation with Applications*. 3(2) (2023), 159-169. doi:10.53391/mmnsa.1311943

[7] Ö. Arslan, K. Mustafa, Effect of Hilbert-Huang transform on classification of PCG signals using machine learning, *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*. 34(10) (2022), 9915-9925. doi:10.1016/j.jksuci.2021.12.019

[8] S. Yetkin, G. O. Koca, Esnek robotların tasarım, kontrol ve imalat çalışmalar, *International Journal of Engineering Research and Development*. 13(1) (2021), 74-86. doi:10.29137/umagd.706041

[9] A. A. SÜZEN, Z. Yildiz, T. Yilmaz, LSTM tabanlı Derin Sinir Ağı ile Ayak Taban Basınç Verilerinden VKİ Durumlarının Sınıflandırılması, *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*. 8(4) (2019), 1392-1398. doi:10.17798/bitlisfen.540273

[10] W. Zha, Y. Liu, Y. Wan, R. Luo, D. Li, S. Yang, Y. Xu, Forecasting monthly gas field production based on the CNN-LSTM model, *Energy*. (2022), 124889. doi:10.1016/j.energy.2022.124889

[11] J. Hou, Y. Wang, J. Zhou, Q. Tian, Prediction of hourly air temperature based on CNN–LSTM. *Geomatics, Natural Hazards and Risk,* 13(1) (2022), 1962-1986. doi:10.1080/19475705.2022.2102942

[12] M. A. Karabulut, E. Topçu, Derin öğrenme tekniği kullanilarak kars ilinin hava sicaklik tahmini, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi.* 10(4) (2022), 1174-1181. doi:10.21923/jesd.1067700

[13] M. A. Şimşek, F. Özen, Realization of A Building Automation System Using PLC And SCADA, *International Journal of Engineering and Innovative Research.* 1(1) (2019), 28-34

[14] A. F. Yazi, F. Ö. Çatak, E. Gül, Classification of methamorphic malware with deep learning (LSTM), *2019 27th signal processing and communications applications conference (SIU)*. IEEE, 2019, doi:10.1109/SIU.2019.8806571

[15] A. Altan, Aytaç, S. Karasu, Ayrıştırma yöntemlerinin derin öğrenme algoritması ile tanımlanan rüzgâr hızı tahmin modeli başarımına etkisinin incelenmesi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi.* 20 (2020), 844-853. doi:10.31590/ejosat.785699

[16] F. Akalın, N. Yumuşak, LSTM sinir ağı yaklaşımı kullanılarak mikrodizi veri kümesi üzerinde ALL, AML ve MLL lösemi türlerinin sınıflandırılması, *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University/Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi.* 38(3) (2023), doi: 10.17341/gazimmfd.1064693

[17] F. Hafeez, U. U. Sheikh, A. Khidrani, M. A. Bhayo, S. M. A. Altbawi, T. A. Jumani, T. A, Distant temperature and humidity monitoring: prediction and measurement, *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*. 24(3), (2021), 1405-1413. doi: 10.11591/ijeecs.v24.i3.pp1405-1413

[18] O. M. Katipoğlu, A. C. A. R. Reşat, Estimation of missing temperature data by Artificial Neural Network (ANN), *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi.* 12(2) (2021), 431-438. doi:10.24012/dumf.852821

[19] B. A. Kocalmış, M. C. Kabak, Taşlama makinalarında PLC kullanılarak otomatik taşlama uygulaması, *Avrupa Bilim Ve Teknoloji Dergisi*. (24) (2021), 247-251.

[20] M. Məmmədli, Məryəm, R. O. Kabaoğlu, Simultaneous Monitoring and Control of Automation Systems with SCADA Based PLC, *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi.* 8(1) (2021), 336-344. doi:10.35193/bseufbd.899424

[21] L. Hao, S. Liang, J. Ye, Z. Xu, Z., TensorD: A tensor decomposition library in TensorFlow, *Neurocomputing*. *318* (2018), 196-200. doi:10.1016/j.neucom.2018.08.055

[22] T. O. Hodson, Root-mean-square error (RMSE) or mean absolute error (MAE): When to use them or not, *Geoscientific Model Development.* 15(14) (2022), 5481-5487. doi:10.5194/gmd-15-5481-2022

[23] B. O. Adame, A. O. Salau, Genetic algorithm based optimum finger selection for adaptive minimum mean square error rake receivers discrete sequence-CDMA ultra-wide band systems, *Wireless Personal Communications.* 123(2) (2022), 1537-1551. doi:10.1007/s11277-021-09199-0

[24] M. J. Campbell, R. M. Jacques, *Statistics at square two*. John Wiley & Sons, 2023.

[25] Z. Islam, M. Abdel-Aty, N. Mahmoud, Using CNN-LSTM to predict signal phasing and timing aided by High-Resolution detector data. *Transportation research part C: emerging technologies*. 141 (2022), 103742. doi:10.1016/j.trc.2022.103742

Necmettin Erbakan Üniversitesi
Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi
Journal of Science and Engineering (NEJSE)
DOI: 10.47112/neufmbd.2023.21

Cilt: 5 Sayı:2 Yıl: 2023 | Araştırma Makelesi / Research Article | E-ISSN: 2667- 7989

Çok Seviyeli Görüntü Eşikleme Problemini Çözmek İçin Harmoni Aramalı Yeni Bir Hibrit Gri Kurt Optimizasyon Algoritması

Alper ÜNLÜ [1] **İlhan İLHAN** [2]

[1] Necmettin Erbakan University, Faculty of Engineering, Department of Mechatronics Engineering, Konya, Türkiye, alperunlu07@gmail.com

[2] Necmettin Erbakan University, Faculty of Engineering, Department of Mechatronics Engineering, Konya, Türkiye, ilhan@erbakan.edu.tr *(Sorumlu Yazar/Corresponding Author)*

Makale Bilgileri

Makale Geçmişi
Geliş: 03.09.2023
Kabul: 15.10.2023
Yayın: 31.12.2023

Anahtar Kelimeler:
Gri kurt optimizasyon,
Harmoni arama,
Kapur,
Çok seviyeli görüntü eşikleme,
Otsu.

ÖZ

Çok seviyeli görüntü eşikleme, görüntüyü ileri düzeyde anlamlı özelliklere ayırmak için kullanılan önemli bir görüntü işleme tekniğidir. Bu teknik, metasezgisel optimizasyon algoritmaları ile birlikte kullanılarak hesaplama süresi açısından başarılı sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu çalışmada, çok seviyeli görüntü eşikleme problemini çözmek için GWO-HS olarak isimlendirilen hibrit bir algoritma önerilmiştir. Önerilen algoritma gri kurt optimizasyon (GWO) ve harmoni arama (HS) algoritmaları hibritlenerek elde edilmiştir. GWO-HS algoritmasının performansı beş diğer algoritmanın performansları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalarda Otsu ve Kapur entropi tabanlı eşikleme yöntemleri kullanılmıştır. Deneylerde, görüntü işleme çalışmalarında iyi bilinen ve yaygın olarak kullanılan altı görüntü tercih edilmiştir. Her bir görüntü üzerinde 2'den 10'a kadar değişen seviyeler için eşikleme işlemi uygulanmıştır. Sonuçlar, önerilen GWO-HS algoritmasının, diğer algoritmalara kıyasla özellikle yüksek eşik seviyeleri için daha üstün bir performansa sahip olduğunu göstermiştir.

A Novel Hybrid Gray Wolf Optimization Algorithm with Harmony Search to Solve Multi-Level Image Thresholding Problem

Article Info

Article History
Received: 03.09.2023
Accepted: 15.10.2023
Published: 31.12.2023

Keywords:
Grey wolf optimization,
Harmony search,
Kapur,
Multi-level image thresholding,
Otsu.

ABSTRACT

Multi-level image thresholding is an important image processing technique used to separate an image into advanced meaningful features. By using this technique together with metaheuristic optimization algorithms, successful results can be achieved in terms of computational time. In this study, a hybrid algorithm called GWO-HS was proposed to solve the multi-level image thresholding problem. The proposed algorithm was obtained by hybridizing the Gray Wolf Optimization (GWO) and Harmony Search (HS) algorithms. The performance of the GWO-HS algorithm was compared with the performances of five other algorithms. Otsu and Kapur entropy-based thresholding methods were used in the comparisons. In the experiments, six images, which are well known and widely used in image processing studies, were preferred. Thresholding was applied for threshold levels ranging from 2 to 10 on each image. The results showed that the proposed GWO-HS algorithm has superior performance compared to other algorithms, especially for high threshold levels.

Atıf/Citation Ünlü, A. & İlhan, İ. (2023). 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), 230-245. https://doi.org/10.47112/neufmbd.2023.21

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

INTRODUCTION

Multi-level image thresholding is a classification process that separates image data according to multiple thresholds. In this process, the pixel values in the image are compared to predetermined threshold values and they are updated according to the relevant threshold value. Thus, it is aimed to separate and characterize the objects in the image. Image thresholding is a commonly preferred methods in the fields of image processing and computer vision. It is frequently used in various applications such as character recognition [1], target identification [2], multiple objects tracking on video [3] and medical imaging [4].

Image thresholding methods are commonly applied on grayscale images. Two-level or multi-level thresholding is performed according to the threshold values obtained from the histogram of the grayscale image. Thresholding methods based on histogram information are simple and effective techniques. The most common of these methods are Otsu and Kapur entropy-based thresholding methods. While Otsu thresholding method uses variance information, Kapur entropy-based thresholding method uses entropy information. These methods produce fast results for a single threshold value. However, as the number of thresholds to be obtained from the image increases, the computation time increases exponentially. It is necessary to use optimization algorithms to obtain the optimum threshold value and reduce the computation time.

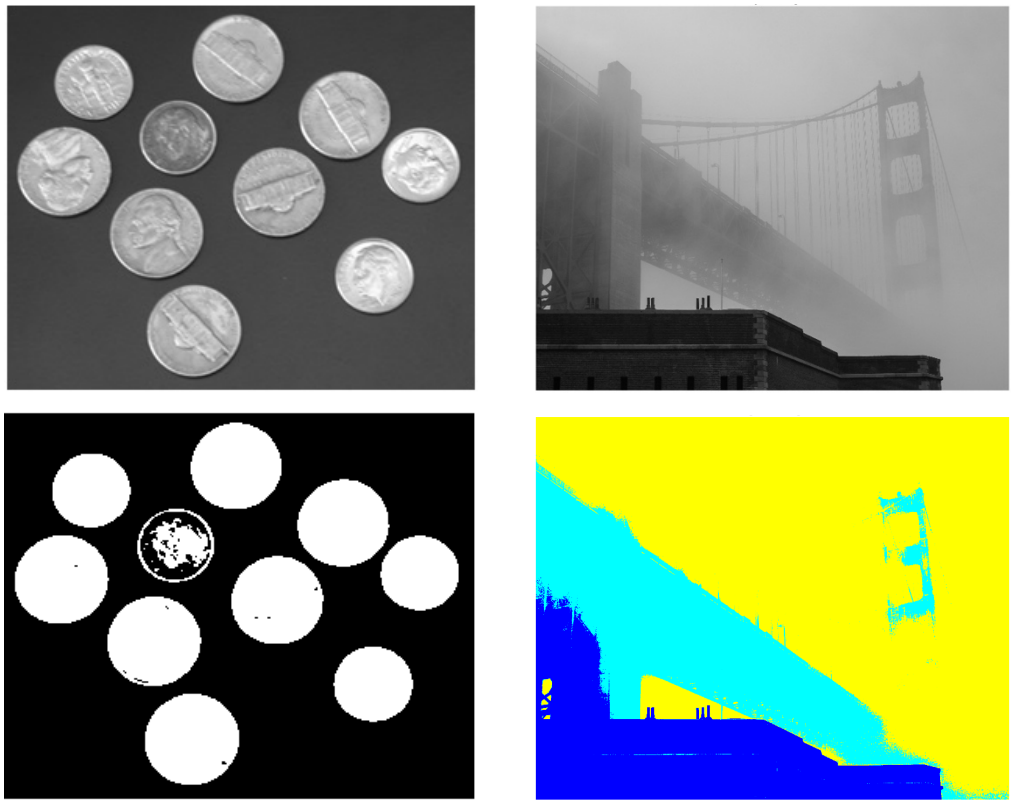
Metaheuristic algorithms are nature-inspired algorithms that minimize or maximize the given objective function in optimization problems. These algorithms can solve many different types and properties of problems such as continuous, discrete and binary optimization problems [5-7]. These algorithms can even be successfully applied to clustering problems [8]. The multi-level image thresholding problem is considered as a continuous optimization problem and metaheuristic algorithms are widely used to solve this problem. Some of the algorithms used in these studies are genetic algorithm (GA) [9], improved bat algorithm (IBA) [10], cuckoo search (CS) algorithm [11], firefly search (FS) algorithm [12], artificial bee colony (ABC) algorithm [13], particle swarm optimization (PSO) algorithm [14], differential evolution algorithm (DE) [15].

In this paper, a hybrid algorithm called GWO-HS was proposed to solve the multi-level image thresholding problem. The proposed algorithm was obtained by hybridizing grey wolf optimization (GWO) and harmony search (HS) algorithms. The performance of GWO-HS algorithm was compared with the performance of basic algorithms such as genetic (GA), grey wolf optimization (GWO), harmony search (HS), particle swarm optimization (PSO) and simulated annealing (SA). Otsu and Kapur entropy-based thresholding methods were used in the comparisons. “Barbara”, “Living room”, “Boats”, “Goldhill”, “Lake” and “Aerial” images, which are well known and widely used in image processing studies, were used in the experiments. Thresholding was applied for threshold levels (numbers) ranging from 2 to 10 on each image.

MULTI-LEVEL IMAGE THRESHOLDING

Thresholding methods are divided into two groups: single-level and multi-level thresholding. In single-level thresholding, the image is divided into two different regions. For this, firstly, an appropriate T threshold value is determined. Then, the pixels with gray intensity values greater than this value are classified as object (foreground) pixels. Other pixels with gray density values smaller than the T threshold value are classified as background pixels. After this binary transformation process, a grayscale image is converted into a binary image [16]. In multi-level thresholding, the image is divided into several different regions. In this method, more than one threshold value is determined for a given grayscale image. Then, the image is divided into specific brightness regions corresponding to a background and several objects (foreground). The multi-level thresholding method works very well on images containing colored objects and complex backgrounds, where the single-level thresholding method cannot produce satisfactory results [17].

An example of single-level and multi-level thresholding methods is presented in Fig. 1. Fig. 1a shows an example image and its thresholded version according to the threshold value of 126. Fig. 1b shows an example image and its thresholded version according to threshold values of 80 and 147.



(a) (b)

Figure 1. *(a) Single-level thresholding (b) multi-level thresholding.*

Various methods were proposed for determining threshold values in multi-level image thresholding. The most common of these methods are Otsu and Kapur entropy-based methods, which are also used in this study and described in detail below.

Otsu Thresholding Method

Otsu thresholding method is one of the most widely used thresholding algorithms based on maximizing the variance between classes. Proposed in 1979 by Nobuyuki Otsu, it is a threshold detection method that can be applied to greyscale images [18].

The probabilities of pixels at level i of an image I with L gray levels are denoted by pi. The sum of these probabilities is equal to 1. So pi ≥ 0 and p0 + p1 + … + pL-1 = 1. ω_0 is the sum of the probabilities of the pixels up to the threshold of the image. μ_T is the value of the average gray level of the image. The average value for each class is denoted by μ_i and the mathematical expressions for the objective function are given in Equations 1-5.

$$f(t) = \sum_{i=0}^{n} \sigma_i \tag{1}$$

$$\omega_0 = \sum_{i=0}^{t_0-1} p_i \ , \omega_1 = \sum_{i=t_0}^{t_1-1} p_i \ , \dots \ \omega_k = \sum_{i=t_{k-1}}^{L-1} p_i \tag{2}$$

$$\sigma_0 = \omega_0 \ (\mu_0 - \mu_T)^2 \ , \sigma_1 = \omega_1 \ (\mu_1 - \mu_T)^2 , \dots , \sigma_1 = \omega_n \ (\mu_n - \mu_T)^2 \tag{3}$$

$$\mu_0 = \sum_{i=0}^{t_1-1} \frac{ip_i}{\omega_i} \;\; \mu_1 \;\; , \;\; \mu_1 = \sum_{i=t_1}^{t_2-1} \frac{ip_i}{\omega_i} \;, \mu_2 = \sum_{i=t_3}^{t_3-1} \frac{ip_i}{\omega_i} \;\; \mu_1 \;\; , \;\; \mu_m = \sum_{i=t_m}^{L-1} \frac{ip_i}{\omega_i} \tag{4}$$

$$(t)^* = argmax\left(\sum_{i=0}^{m} \sigma_i\right) \tag{5}$$

Kapur Entropy-Based Thresholding Method

Kapur's entropy-based function was initially proposed in 1985 for segmentation by maximizing the entropy of a grey level image histogram [19]. This method uses entropy as an objective function to find the optimum threshold value for image segmentation processes. In single-level thresholding, the threshold value is determined to divide the image into foreground and background regions. In Kapur's entropy method, the entropy of each region is calculated individually to find the optimum threshold and the value with the maximum entropy is determined as the threshold value [20].

Considering that any image with N pixel values has L gray levels 0, 1, 2, ..., L-1, the probabilities of the gray level values in the image are Pi and h(i) indicates the number of pixels with gray level i in the image. Considering that there are k threshold values in the segmentation process, the mathematical expressions of the objective function are given in Equations 6-8.

$$P_i = h(i)/N \tag{6}$$

$$f(t) = \arg\max\left(\sum_{i=0}^{1} H_i)\right) \tag{7}$$

$$\begin{aligned} \omega_0 &= \sum_{i=0}^{t_0-1} Pi \qquad H_0 = -\sum_{i=0}^{t_0-1} \frac{P_i}{\omega_0} \ln\frac{P_i}{\omega_0} \\ \omega_1 &= \sum_{i=t_0}^{t_1-1} Pi \qquad H_0 = -\sum_{i=t_0}^{t_1-1} \frac{P_i}{\omega_1} \ln\frac{P_i}{\omega_1} \\ \omega_k &= \sum_{i=t_{k-1}}^{L-1} Pi \qquad H_0 = -\sum_{i=t_{k-1}}^{L-1} \frac{P_i}{\omega_k} \ln\frac{P_i}{\omega_k} \end{aligned} \tag{8}$$

MATERIALS AND METHODS

In this study, a hybrid algorithm was developed to solve the multi-level image thresholding problem. This algorithm was named as GWO-HS. The GWO-HS was obtained by hybridizing the GWO and HS algorithms. In this section, the GWO and HS algorithms are first explained. Then, the GWO-HS algorithm is described in detail.

Grey Wolf Optimization Algorithm

The grey wolf optimization (GWO) algorithm is a population-based metaheuristic algorithm inspired by the social leadership and hunting behavior of wolves. It was proposed by Mirjali et al. [21]. The social hierarchy structure of gray wolves is classified as alpha, beta, delta and omega. Alpha male and female wolves are at the top of the hierarchy and lead the pack. They are followed by the beta wolf, who supports the decisions of the alpha wolf and helps maintain discipline within the pack. The delta wolf is below the beta wolf in the hierarchy. They are usually strong but lack the skills or confidence to lead. There are the omega wolves at the bottom of the hierarchy. Omega wolves have no power.

In the GWO algorithm, the search process starts by generating a random population of gray wolves (candidate solutions). Over iterations, alpha, beta and delta wolves estimate the likely location of the prey. Each candidate solution updates its distance from the prey using Equation 13.

$$A = 2.a.r_1 - a \tag{9}$$

$$C = 2.r_2 \tag{10}$$

$$D_\alpha = |C_1 X_\alpha - X|,\ D_\beta = |C_2 X_\beta - X|,\ D_\delta = |C_3 X_\delta - X| \tag{11}$$

$$X_1 = X_\alpha - A_1.D_\alpha,\ X_2 = X_\beta - A_2.D_\beta,\ X_3 = X_\delta - A_3.D_\delta \tag{12}$$

$$X(t+1) = \frac{X_1 + X_2 + X_3}{3} \tag{13}$$

Here, t represents the current iteration. A and C are coefficients. r1 and r2 are randomly generated values in the range [0, 1]. X indicates the position of a gray wolf. Xα, Xβ and Xδ represent the positions of alpha, beta, and delta wolves, respectively. In the GWO algorithm, to increase the importance of the discovery, the parameter a is decreased from 2 to 0. Candidate solutions tend to move away from the prey when |A|>1 and closer to it when |A|<1. Finally, the GWO algorithm is terminated by satisfying the stopping criterion. Fig. 2 shows the pseudocode of the GWO algorithm.

```
Initialize parameters IN and PS
  IN: Number of Iterations, PS: Population Size
Initialize the population of gray wolf, Xi (i = 1, 2, 3, …., PS)
Initialize a, A and C
Calculate the fitness values of all search agents
Determine Xα, Xβ and Xδ
  Xα: Best search agent, Xβ: Second best search agent, Xδ: Third best search agent
t = 0
while t < IN
    foreach Xi in X
        Update the position of the current search agent with Equations 11-13
    end foreach
    Update a, A and C values
    Calculate the fitness values of all search agents
    Update Xα, Xβ and Xδ
    t = t + 1
end while
Return Xα
```

Figure 2. *Pseudocode of the GWO algorithm*

Harmony Search Algorithm

Musical performances seek the best state (fantastic harmony) determined by the aesthetic prediction, while optimization algorithms aim to find the best state (global optimum) determined by the objective function. The aesthetic prediction is determined by the set of sounds played by various instruments. The value of objective function is determined by the set of values produced by the variables. For a better aesthetic prediction, sounds can be improved by practicing. For a better the value of objective function, the variable values can be iteratively improved.

The new algorithm that mimics the way musicians try different notes to create a perfect harmony is called the harmony search (HS) algorithm. This algorithm was first proposed in 2001 and has been successfully used to solve various engineering problems [22]. Fig. 3 shows the pseudocode of the HS algorithm.

```
1   Initialize parameters IN, HMS, HMCR, PAR, BW and BWF
    IN: Number of Iterations, HMS: Harmonic Memory Size, HMCR: Harmony Memory
    Consideration Ratio, PAR: Pitch Adjustment Ratio, BW: Bandwidth, BWF: Bandwidth Factor
2   Generate HM randomly, HM = {X^1, X^2, …X^HMS}
3   Determine the worst harmony in HM, X^worst ∈ {X^1, X^2, …X^HMS}
4   t = 0
5   while (t < IN)
6       foreach i ∈ [1, D]                          // D: Number of notes
7           if rand(0,1) < HMCR
8               X_i^new = X_i^R ∈ {X_i^1, X_i^2, …,X_i^HMS}   // Consideration of harmony memory
9               if rand(0,1) < PAR
10                  X_i^new = X_i^new ± rand(0,1). BW(i)       // Tone adjustment
11              end if
12          else
13              X_i^new = X_i^L ± rand(0,1). (X_i^U − X_i^L)   // Randomization
14          end if
15      end foreach
16      if X^new.IsBetter(X^worst)
17          X^worst = X^new
18      end if
19      BW = BW * BWF
20      t = t + 1
21  end while
22  Return X^best ∈ {X^1, X^2, …X^HMS}
```

Figure 3. *Pseudocode of the HS algorithm*

Proposed Hybrid GWO-HS Algorithm

In this study, the GWO and HS algorithms were hybridized to solve the multi-level image thresholding problem and the GWO-HS algorithm was developed. The pseudocode of the GWO-HS algorithm is given in Fig. 4. As can be seen from the figure, at the beginning of the algorithm, iteration number (IN), population size (PS) and bandwidth (BW) values are determined. Then, the gray wolf population Xi is randomly generated. Xi is represented by a matrix with element values between 0 and 255. The number of rows of this matrix is equal to PS and the number of columns is equal to the number of thresholds to be detected in the image. After the generation of the population, the values of a, A and C are determined and the bandwidth factor BWF is calculated by the formula 〖((2)⁄(BW))〗^(1⁄((IN-1))). The fitness values of all search agents (gray wolves) are calculated. The three gray wolves with the best fitness values (Xα, Xβ and Xδ) are identified. The section from line 7 to line 22 represents the iteration process. When these lines are analyzed, it is seen that the section except for lines 14-20 is the same as the iteration process of the GWO. The section between lines 14-20 represents the tone adjustment phase of the HS. Unlike the tone tuning phase in the HS, in the GWO-HS algorithm, the tone tuning process is applied only to alpha, beta and delta wolves. Thus, about these wolves, better wolves in terms of fitness value are tried to be detected.

The tone adjustment process in the GWO-HS algorithm is used for the local search process. At the end of each iteration, the bandwidth value is multiplied by the bandwidth factor and reduced. Thus, at the beginning of the iterations, neighboring solutions in more remote areas are searched, while at the end of the iterations, neighboring solutions in closer areas are searched. The effect of the tone adjustment process is better seen as the threshold number increases. For low threshold numbers, the GWO and GWO-HS algorithms achieve similar

results. However, as the threshold number increases, the GWO-HS algorithm achieves better results than the GWO and other algorithms. This can be clearly seen from the tables shared in the next section.

```
Initialize parameters IN, PS and BW
IN: Number of Iterations, PS: Population Size, BW: Bandwidth
Initialize the population of gray wolf, Xi (i = 1, 2, 3, …., PS)
Initialize a, A, C and BWF
BWF (Bandwidth Factor) = (2/BW)^(1/(IN−1))
Calculate the fitness values of all search agents
Determine Xα, Xβ and Xδ
Xα: Best search agent, Xβ: Second best search agent, Xδ: Third best search agent
t = 0
while t < IN
    foreach Xi in X
        Update the position of the current search agent with Equations 11-13
    end foreach
    Update a, A and C values
    Calculate the fitness values of all search agents
    Update Xα, Xβ and Xδ
    for k = 1 to 10
        X^new_α,β,δ = X^new_α,β,δ ± rand(0, 1). BW
        if X^new_α,β,δ.IsBetter(Xα,β,δ)
            Xα,β,δ = X^new_α,β,δ
        end if
    end for
    BW = BW * BWF
    t = t + 1
end while
Return Xα
```

Figure 4. *Pseudocode of the GWO-HS algorithm*

RESULTS

In this study, the performance of the proposed GWO-HS algorithm was compared with the performances of the GA, GWO, HS, PSO and SA algorithms using the Otsu and Kapur entropy-based thresholding methods. In the experiments, "Barbara", "Living room", "Boats", "Goldhill", "Lake" and "Aerial" images, which are widely preferred in image processing studies, were used. Among these images, "Aerial" has a size of 256x256. The size of the others is 512x512. These images and their histograms are shown in Fig. 5.

The GWO-HS and other algorithms used for comparison were implemented in Python programming language. A computer with an Intel Core i7-9700K 3.6 GHz processor and 16 GB RAM was used for coding. The experiments were performed on the same computer. The parameter values used for the GWO-HS and other algorithms are given in Table 1. To make a fair comparison, the number of iterations of all algorithms was taken as 100. The population size of the GWO-HS, GA, GWO, HS and PSO algorithms was used as 100. The number of trials of the SA algorithm was determined as 100. Other parameter values of the algorithms were tuned by trial and error by conducting a series of preliminary experiments for each algorithm.

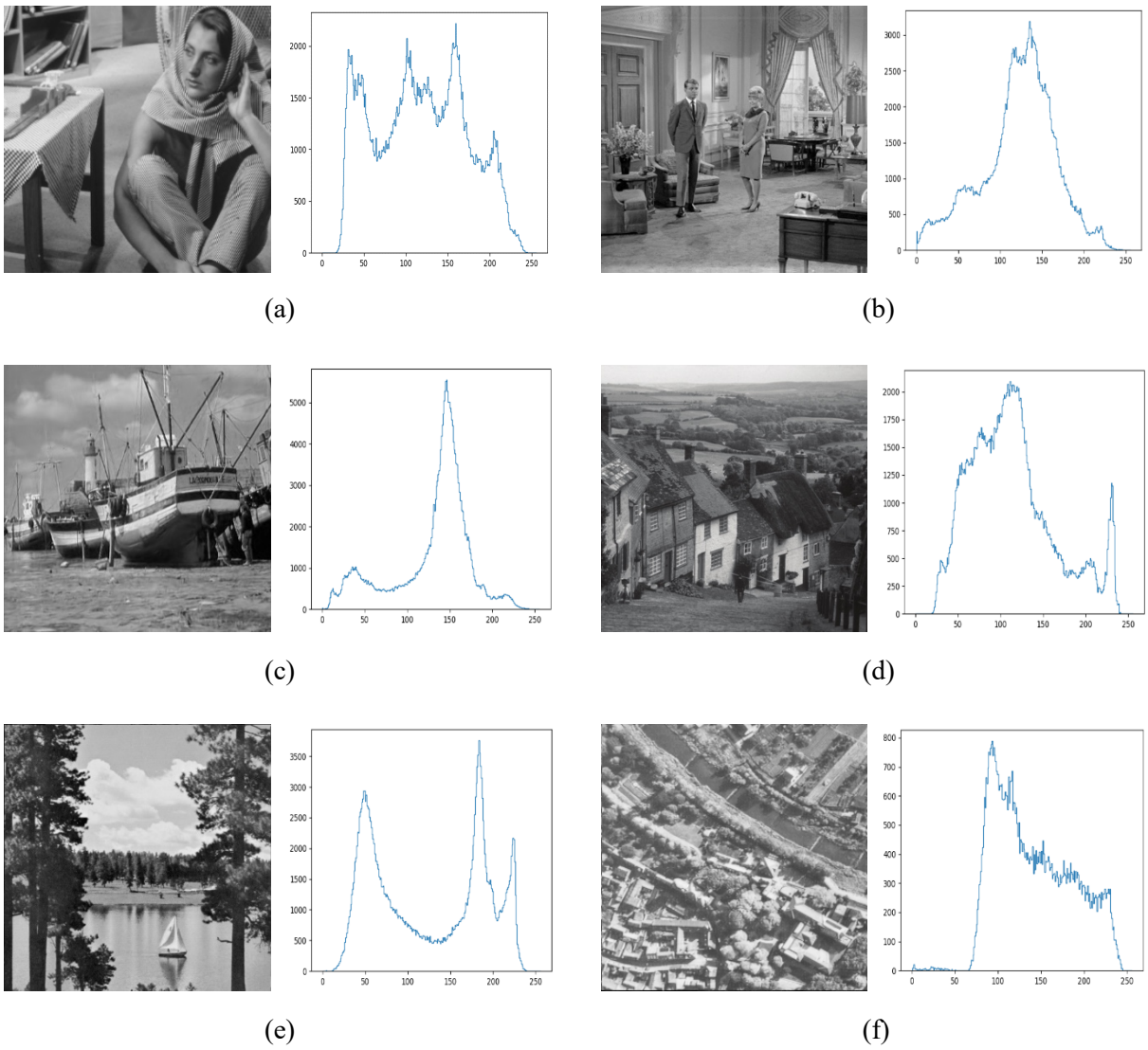


Figure. 5. *(a) Barbara, (b) Living room, (c) Boats, (d) Goldhill, (e) Lake, and (f) Aerial images and their histograms.*

Table 1. *The values of the parameters for the GWO-HS and other algorithms*

ALGORITHM	PARAMETERS
GA	Number of generations: 100, Population size: 100, Crossover rate: 0.80, Mutation rate: 0.30
GWO	Number of generations: 100, Number of gray wolves: 100, Distance control parameter a: Linearly decreased from 2 to 0
HS	Number of iterations: 100, Harmony memory size: 100, Harmony memory considering rate: 0.95, Pitch adjusting rate: 0.2, Bandwidth: 4.5, Bandwidth factor: 0.99
PSO	Number of iterations: 100, Number of particles: 100, Cognitive component: 2, Social component: 2, Inertia weight: 0.7, Inertia weight reduction rate: 0.99
SA	Number of iterations: 100, Number of trials: 100, Start temperature: 10, End temperature: 2
GWO-HS	Number of generations: 100, Number of gray wolves: 100, Distance control parameter a: Linearly decreased from 2 to 0, Bandwidth: 10

On each image, 50 independent runs were performed for threshold levels ranging from 2 to 10. The results obtained for the Otsu thresholding method are shown in Table 2 and the results obtained for the Kapur entropy-based thresholding method are shown in Table 3. In these tables, K is the number of thresholds, “Mean” is the mean value of 50 independent runs and “StdDev” is the standard deviation. The best values are shown in bold format.

As can be seen from Table 2, the proposed GWO-HS algorithm outperforms the GA, HS, PSO and SA algorithms for all threshold numbers on all images regardless of the number of thresholds. However, unlike the other algorithms, the performance of the GWO-HS algorithm against the GWO varies depending on the number of thresholds. While the GWO has a superior performance for low threshold levels such as 2, 3 and 4, the GWO-HS algorithm has a superior performance for all other threshold levels.

Table 2. *The comparison of the results obtained for the GWO-HS and other algorithms for the Otsu thresholding method.*

ALG.	K	BARBARA		LIVING ROOM		BOATS		GOLDHILL		LAKE		AERIAL	
		Mean	StdDev	Mean	StdDev	Mean	StdDev	Mean	StdDev	Mean	StdDev	Mean	StdDev
GA	2	2584.1910	2.4630	1620.4003	6.4055	1810.2318	15.2866	2076.6916	1.4500	3974.6408	3.6371	1795.0510	11.8624
GWO		**2608.6108**	**0.0000**	**1625.2673**	**0.0000**	**1823.1397**	**0.0000**	**2085.6947**	**0.0000**	**3977.5755**	**0.0000**	**1808.1711**	**0.0000**
HS		2601.8409	2.0570	1624.8008	0.3556	1821.7786	0.2735	2077.1936	0.0566	3973.7883	4.5642	1802.5479	4.7238
PSO		2235.3914	15.3925	1448.9853	136.0320	1681.5268	61.2415	1811.8681	58.7839	3813.9645	95.8014	1664.2596	65.8755
SA		2591.6760	12.5139	1618.2527	7.0140	1817.7942	3.7769	2070.2432	3.0542	3968.8791	2.3818	1796.3310	14.6802
GWO-HS		**2608.6108**	**0.0000**	**1625.2673**	**0.0000**	**1823.1397**	**0.0000**	2076.5756	**0.0000**	**3977.5755**	**0.0000**	**1808.1711**	**0.0000**
GA	3	2755.4494	1.1238	1733.3148	4.6643	1932.1339	1.0136	2207.9080	14.2830	4089.4587	2.5836	1879.0843	0.3126
GWO		**2785.1633**	**0.0000**	**1757.2036**	**0.0000**	**1954.0168**	0.0401	**2231.8820**	**0.0000**	**4115.4122**	**0.0207**	**1905.4106**	**0.0000**
HS		2772.9373	9.6976	1741.3981	5.8781	1941.0171	5.0339	2217.1816	16.6217	4102.5471	6.6054	1883.7208	3.8518
PSO		2404.1356	87.2914	1554.0675	79.4102	1706.8098	82.8380	1973.4373	8.6621	3826.3412	37.7550	1737.1064	75.2170
SA		2734.2633	2.0054	1698.5113	37.2179	1935.4507	9.8647	2203.0349	15.9237	4082.1568	16.4058	1847.5910	47.4007
GWO-HS		**2785.1633**	**0.0000**	1757.1092	0.1335	1954.0019	**0.0045**	2226.2436	0.2945	4115.3476	0.1120	1905.2183	0.0026
GA	4	2807.9848	33.9369	1785.1026	10.3733	1969.7063	11.9879	2276.5228	16.4350	4157.5134	20.2524	1926.1768	28.7448
GWO		**2856.1678**	**0.0494**	**1825.9301**	**0.1040**	**2014.3275**	**0.0332**	**2306.4799**	**0.0279**	**4184.1082**	**0.0012**	**1956.9222**	**0.0650**
HS		2822.5109	6.1322	1813.2851	7.0544	1999.3605	20.3531	2282.2977	17.5640	4170.2821	11.9938	1922.7369	11.1361
PSO		2517.6651	61.4201	1670.2290	6.3416	1709.7685	7.9745	2017.5602	42.2285	3877.9096	20.1863	1788.6861	83.8992
SA		2781.0431	40.1500	1793.8223	2.3193	1967.9787	38.1751	2265.9724	33.3402	4144.2550	37.5588	1941.2343	13.9038
GWO-HS		2855.8357	0.2530	1825.7420	0.1911	2014.2331	0.0628	2295.7821	4.7478	4183.7921	0.1084	1956.5352	0.1037
GA	5	2869.0107	2.2628	1824.7525	4.8468	2030.6021	14.8232	2317.0280	**0.0541**	4190.8097	5.1310	1961.0332	0.8955
GWO		2890.2421	0.4111	1858.0895	5.6760	**2049.1773**	**0.1123**	**2341.9834**	0.3901	4214.3206	5.4516	1972.7712	**0.1326**
HS		2876.2826	**0.2060**	1842.9403	**0.4044**	2030.8081	6.0340	2312.9102	6.3711	4196.7350	1.7866	1961.4944	7.3323
PSO		2580.8786	172.6711	1554.4679	133.9471	1746.7712	46.0661	1951.6828	29.0970	3897.6907	46.7089	1754.7712	111.1039
SA		2847.1356	8.6854	1829.7425	13.4999	2008.4857	9.0616	2282.8950	34.6408	4167.3238	27.1892	1953.2003	13.3505
GWO-HS		**2890.5733**	0.4252	**1865.2325**	3.1556	2045.4412	2.7995	2325.3024	4.3697	**4219.3742**	**0.3868**	**1980.4530**	0.1885
GA	6	2879.1309	0.9521	1874.8074	4.3155	2052.2617	2.1084	2340.7512	29.0965	4207.1812	25.2118	1973.9697	3.5615
GWO		2909.7850	1.4252	1891.2785	2.5665	2066.8545	2.9972	**2365.5163**	**0.2686**	4224.7625	6.9820	1985.9932	1.8952
HS		2889.8892	6.5527	1867.0588	16.9598	2051.9278	1.5615	2350.1437	4.3987	4223.8666	4.9657	1979.1305	5.7052
PSO		2530.3059	94.9214	1518.7585	49.9753	1780.9781	2.3210	2029.2863	30.5081	3890.0612	30.5334	1800.9264	79.2839
SA		2876.9104	24.2861	1858.4559	18.5598	2037.9610	11.9653	2327.9412	4.9404	4215.5165	4.2333	1968.7370	12.8693
GWO-HS		**2911.0586**	**0.7911**	**1892.7833**	**1.9265**	**2069.1918**	**1.3364**	2349.7007	5.4213	**4239.5216**	**0.8006**	**1996.3186**	**0.0163**
GA	7	2907.1388	0.4238	1889.3317	3.4316	2061.1949	2.5281	2356.7717	13.6920	4234.4416	6.7331	1986.9451	12.4362
GWO		**2926.4214**	2.8749	1899.0001	4.1339	2073.5523	1.5442	**2378.3609**	**1.8676**	4237.4688	18.3690	1992.3840	2.7788
HS		2912.9308	**0.0559**	1887.7824	3.1128	2062.1232	**0.0447**	2358.0746	3.2650	4237.0266	2.1384	1995.9981	3.1058
PSO		2546.5972	16.8260	1576.8282	8.7124	1772.0238	81.2900	1944.5262	75.6510	3924.0360	76.6665	1789.0999	12.6297
SA		2884.1001	20.6792	1879.7480	5.2222	2066.7447	11.5145	2351.5404	18.4830	4215.6697	10.9070	1970.4718	12.6682
GWO-HS		2924.7077	2.0174	**1908.6981**	**0.2393**	**2077.9682**	2.3875	2370.1317	4.1619	**4251.8789**	**0.0958**	**2009.2240**	**0.4069**
GA	8	2913.6766	2.5149	1895.9961	16.9940	2063.9027	4.0869	2362.8037	5.8789	4244.6577	6.5143	1998.1731	3.9611
GWO		2928.5480	10.0109	1910.5277	**0.0804**	2072.7483	3.7468	**2381.7524**	0.8584	4241.3426	**2.3105**	2005.0517	3.7883
HS		2909.8208	3.5274	1898.8606	1.2545	2076.0493	5.2671	2358.7956	0.8717	4246.6031	2.4043	2004.3405	5.3067
PSO		2546.1948	72.0733	1617.6435	93.5931	1792.3372	40.3141	1939.9588	126.2400	3947.2470	63.3169	1804.4573	49.3488
SA		2922.0381	15.5689	1904.0135	0.8376	2062.5634	1.3182	2365.2602	**0.2827**	4235.7993	12.9707	1995.5500	9.0327
GWO-HS		**2936.8981**	**0.7093**	**1914.3804**	3.3253	**2093.7253**	**0.6107**	2375.6113	7.4340	**4255.0859**	10.0895	**2018.3229**	**1.4666**
GA	9	2924.3481	1.6175	1911.3112	3.0668	2075.4618	6.0587	2378.1913	1.4432	4248.3892	4.0041	2014.3473	3.9541
GWO		2929.7747	6.3417	1909.5245	8.6469	2087.9356	3.2160	**2394.1818**	6.6303	4246.4588	4.6209	2008.5424	5.5828
HS		2928.4645	1.8576	1912.0299	**1.1043**	2084.3102	**1.1571**	2382.6090	2.7054	4255.1563	5.4818	2010.2094	2.6260

PSO		2513.6373	61.6789	1605.1585	67.7974	1874.6807	1.8210	2080.9371	31.6025	3929.3808	52.1731	1809.6216	13.8751
SA		2923.7228	3.2142	1898.2830	1.1253	2080.0399	1.7578	2373.4272	5.5579	4245.9283	13.9104	2003.3753	2.7279
GWO-HS		**2944.7483**	**0.2524**	**1928.1072**	1.6900	**2097.7919**	4.0696	2384.8441	**0.8086**	**4269.2838**	**0.0162**	**2024.6727**	**2.1029**
GA		2927.8068	2.8613	1914.1002	16.6783	2087.0520	2.1316	2380.8974	12.7005	4258.4818	**0.0321**	2005.3658	5.2694
GWO		2943.4035	1.8916	1915.2266	**0.8322**	2089.5607	**0.5032**	**2395.6620**	7.4484	4256.7845	3.1528	2012.6915	4.7114
HS	10	2934.1225	1.1725	1916.2005	7.6420	2090.3541	4.6657	2385.1949	**3.5443**	4257.1314	1.5684	2012.0261	4.9177
PSO		2484.5586	50.5821	1668.2146	70.1665	1822.5785	39.5544	2100.4246	18.2842	3851.8372	1.4674	1814.7564	**1.4517**
SA		2915.1557	4.5359	1910.9725	15.7211	2084.2187	8.9720	2370.0133	6.3657	4248.2276	0.7648	1998.4395	10.5941
GWO-HS		**2949.8372**	**0.6889**	**1925.1168**	2.0616	**2101.7355**	5.4750	2385.2922	7.7805	**4272.5863**	2.4680	**2026.8107**	1.9890

A similar situation to that in Table 2 is also seen in Table 3. The proposed GWO-HS algorithm outperforms the GA, HS, PSO and SA algorithms for all threshold numbers on all images regardless of the number of thresholds. However, unlike the other algorithms, the performance of the GWO-HS algorithm against the GWO varies depending on the number of thresholds. While the GWO has a superior performance for low threshold levels such as 2, 3 and 4, the GWO-HS algorithm has a superior performance for all other threshold levels.

Table 3. *The comparison of the results obtained for the GWO-HS and other algorithms for the Kapur entropy-based thresholding method.*

ALG.	K	BARBARA		LIVING ROOM		BOATS		GOLDHILL		LAKE		AERIAL	
		Mean	StdDev	Mean	StdDev	Mean	StdDev	Mean	StdDev	Mean	StdDev	Mean	StdDev
GA		12.6252	0.0235	12.6660	0.0369	12.5093	0.0801	12.5492	0.0136	12.5147	0.0158	12.5090	0.0345
GWO		**12.6683**	**0.0000**	**12.7019**	**0.0000**	**12.6193**	**0.0000**	**12.5606**	**0.0000**	**12.5293**	**0.0000**	**12.5382**	**0.0000**
HS		12.6582	0.0139	12.6964	0.0004	12.6079	0.0023	12.5492	0.0019	12.5130	0.0096	12.4908	**0.0000**
PSO	2	11.9384	0.3238	12.1306	0.3024	11.6006	0.4765	12.2879	0.1572	11.5890	0.0515	11.4848	0.2978
SA		12.6544	0.0097	12.6963	0.0058	12.5685	0.0540	12.5393	0.0170	12.4656	0.0540	12.4907	0.0272
GWO-HS		**12.6683**	**0.0000**	12.7018	0.0002	**12.6193**	**0.0000**	**12.5606**	**0.0000**	**12.5293**	**0.0000**	12.5294	0.0124
GA		15.6687	0.0104	15.7825	0.0201	15.8082	0.0005	15.5748	0.0308	15.3709	0.0410	15.6307	0.0872
GWO		**15.7471**	**0.0000**	**15.9444**	**0.0000**	**15.8794**	**0.0000**	15.6406	0.0001	**15.5702**	**0.0000**	**15.7519**	**0.0000**
HS		15.7220	0.0018	15.8887	0.0273	15.7576	0.0434	15.6235	0.0211	15.5141	0.0047	15.6724	0.0595
PSO	3	13.5706	0.2520	14.1911	0.5221	14.5628	0.4143	13.8414	0.1084	14.3647	0.4960	13.5593	0.3798
SA		15.6001	0.0339	15.8547	0.1046	15.7921	0.0153	15.5335	0.0256	15.4195	0.1474	15.6188	0.0814
GWO-HS		15.7466	0.0007	15.9431	0.0009	15.8769	0.0011	**15.6407**	**0.0000**	**15.5702**	**0.0000**	15.7497	0.0026
GA		18.3988	0.0664	18.8190	0.0098	18.6197	0.1121	18.2525	0.0198	18.2935	0.0832	18.1531	0.1048
GWO		**18.5563**	**0.0007**	**18.9463**	**0.0013**	**18.7385**	**0.0001**	**18.4494**	**0.0000**	**18.3767**	**0.0002**	**18.6156**	**0.0004**
HS		18.4293	0.0587	18.8272	0.0771	18.4860	0.0157	18.3345	0.0541	18.2386	0.0848	18.4334	0.1023
PSO	4	16.5959	0.0817	15.3886	1.2257	15.6612	0.3071	15.1331	0.0259	15.7522	0.3322	15.9201	0.9681
SA		18.2764	0.0254	18.7200	0.0671	18.4472	0.0365	18.1877	0.1772	18.0875	0.1197	18.4365	0.1741
GWO-HS		18.5523	0.0059	18.9398	0.0074	18.7339	0.0060	18.4470	0.0015	18.3379	0.0530	18.6016	0.0118
GA		20.9457	0.0658	21.3724	0.0952	21.2435	0.1010	20.9026	0.0029	20.6284	0.0497	20.5493	0.1304
GWO		**21.2400**	0.0024	21.7153	**0.0029**	**21.4426**	**0.0004**	**21.1419**	0.0047	21.0244	0.0083	21.0572	0.0847
HS		21.0481	0.0344	21.4247	0.1468	21.1837	0.0876	20.8837	0.0216	20.7001	0.1097	20.9696	0.0764
PSO	5	17.8725	1.0216	17.2073	0.8951	17.2145	0.4701	18.2866	0.0842	17.3896	0.4069	16.3488	0.8178
SA		20.7161	0.5950	21.4145	0.0620	21.1040	0.0352	20.6740	**0.0018**	20.5511	0.2749	20.7201	0.0771
GWO-HS		21.2393	**0.0002**	**21.7178**	0.0143	21.3627	0.1160	21.1402	0.0062	**21.0266**	**0.0066**	**21.2009**	**0.0054**
GA		22.9331	0.0136	23.9098	0.0364	23.6021	**0.0082**	23.0935	0.4586	22.9126	0.1436	23.1356	0.1157
GWO		**23.7831**	0.0072	24.3078	0.0212	23.9588	0.0194	**23.6636**	0.0071	23.2158	0.0447	**23.5513**	**0.0065**
HS		23.4492	0.0280	24.0895	0.0977	23.7495	0.0559	23.0830	**0.0033**	22.9928	0.0416	23.3061	0.0903
PSO	6	18.0581	0.9312	18.7883	0.4069	18.6541	1.5392	20.3779	0.6459	17.5753	1.9682	17.7612	0.5998
SA		23.2091	0.1397	23.8253	0.0829	23.3524	0.2198	22.9735	0.3934	22.9717	0.1874	23.1749	0.0281
GWO-HS		23.7737	**0.0047**	**24.3545**	**0.0079**	**23.9723**	0.0532	23.6345	0.0440	**23.4788**	**0.0144**	23.5147	0.0265
GA		25.7626	0.1925	26.3365	0.3389	26.2180	0.2513	25.3754	0.1254	24.9614	0.1979	25.4197	0.0845
GWO		26.0397	0.1081	26.6397	0.1980	**26.4550**	**0.0109**	**25.9749**	0.0250	**25.7415**	**0.0204**	25.4750	0.0657
HS	7	25.5607	0.3158	26.5017	**0.0411**	26.0511	0.0942	25.4976	0.0913	25.1428	0.0874	25.5489	0.2046
PSO		18.9002	0.2706	20.2183	0.1047	17.1257	1.0049	18.7328	1.2450	17.9422	0.2071	18.2603	1.5876
SA		25.5015	0.0711	26.4212	0.1039	25.9455	0.2192	24.8579	0.2349	24.9165	0.0230	24.8996	0.2837

GWO-HS		**26.1013**	**0.0294**	**26.8286**	0.1229	26.4246	0.1135	25.9689	**0.0140**	25.5536	0.1831	**25.8131**	**0.0645**
GA		27.2037	0.2271	28.8348	0.1241	28.2435	0.0852	27.3205	0.8197	26.8099	0.3684	26.9369	0.1745
GWO		28.1418	0.3203	29.0141	0.1976	28.6826	**0.0583**	28.1022	0.0859	27.9591	**0.0075**	27.4680	0.0637
HS	8	27.6178	**0.0092**	28.9876	**0.0500**	28.3939	0.2583	27.9004	0.0827	27.8550	0.0362	27.5557	0.2222
PSO		20.7313	0.4980	20.8748	1.3729	21.0877	0.5928	19.8148	0.7161	19.1393	0.1075	20.4393	0.8429
SA		27.5086	0.0615	28.2828	0.0992	28.0041	0.5507	26.7687	0.3206	27.0479	0.1589	26.9273	0.1544
GWO-HS		**28.4319**	0.0317	**29.2446**	0.1423	**28.7958**	0.1471	**28.1558**	**0.0595**	**27.9691**	0.1791	**27.9824**	**0.0240**
GA		29.3344	0.0500	30.6411	0.2088	30.3648	0.0238	29.1254	0.7867	29.0889	0.5094	28.5324	0.1392
GWO		29.8239	0.1504	30.6994	0.5002	30.2035	0.0528	29.9995	**0.0161**	29.7540	0.0746	29.3662	0.0801
HS	9	29.8402	0.1663	31.1597	0.0963	30.3691	0.0841	29.7164	0.0865	29.6150	0.2811	29.1923	0.2746
PSO		20.9682	1.5874	20.2820	0.9219	20.1675	1.6202	20.3027	0.8412	21.0034	1.7656	19.0573	0.7041
SA		29.1280	0.4675	30.3695	0.1227	30.5642	**0.0155**	29.0973	0.1094	28.7461	0.4776	28.8279	0.4483
GWO-HS		**30.3580**	**0.0210**	**31.6520**	**0.0178**	**31.0191**	0.0806	**30.0713**	0.3344	**30.1692**	**0.0742**	**30.0533**	**0.0470**
GA		31.6385	0.2498	32.9102	**0.0099**	32.3071	0.5693	30.7238	0.5646	30.8563	0.0992	31.2848	0.2417
GWO		31.6653	0.1355	32.2359	1.3386	31.3490	0.4856	31.4680	0.0655	31.5623	0.0550	31.5523	**0.0019**
HS	10	31.4221	0.0954	32.9657	0.5832	32.3508	0.2083	31.2785	0.2643	31.4129	0.0748	31.6459	0.2342
PSO		19.8090	1.6787	19.2198	0.1125	19.6690	0.3800	20.2807	0.9136	20.0017	0.5122	20.8569	1.1840
SA		30.3055	0.1730	32.1957	0.1128	32.1674	0.3856	30.1846	**0.0123**	31.0393	**0.0522**	30.9646	0.0353
GWO-HS		**32.3877**	**0.0424**	**33.7634**	0.0772	**33.0430**	**0.0400**	**32.1353**	0.0962	**32.2085**	0.0590	**31.7871**	0.4446

Considering the values in Tables 2 and 3, the numbers of obtaining the best value for all threshold levels of each algorithm were calculated and presented in Table 4. As can be seen from this table, the proposed GWO-HS algorithm has obtained equal or better values in 9 out of 12 values for the Otsu and Kapur entropy-based thresholding methods. After the results of the GWO-HS, the best results belong to the GWO, which are 4 and 7 for the Otsu and Kapur entropy-based thresholding methods, respectively.

Table 4. *The number of times the GWO-HS and other algorithms achieve the best value.*

METHOD	ALG.	BARBARA		LIVING ROOM		BOATS		GOLDHILL		LAKE		AERIAL	
		Mean	StdDev	Mean	StdDev	Mean	StdDev	Mean	StdDev	Mean	StdDev	Mean	StdDev
OTSU	GA	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-
	GWO	4	3	3	**5**	4	**4**	**9**	**5**	3	4	3	4
	HS	0	2	-	2	0	2	-	1	-	-	-	-
	PSO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
	SA	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
	GWO-HS	**7**	**6**	**7**	3	**6**	**4**	-	2	**7**	**5**	**7**	**5**
KAPUR ENTROPY-BASED	GA	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-
	GWO	**5**	3	3	**4**	**5**	**6**	**5**	3	4	**5**	4	**5**
	HS	-	1	-	2	-	-	-	1	-	-	-	1
	PSO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	SA	-	-	-	-	-	1	-	2	-	1	-	-
	GWO-HS	**5**	**6**	**6**	2	**5**	2	**5**	**4**	**7**	**5**	**5**	4

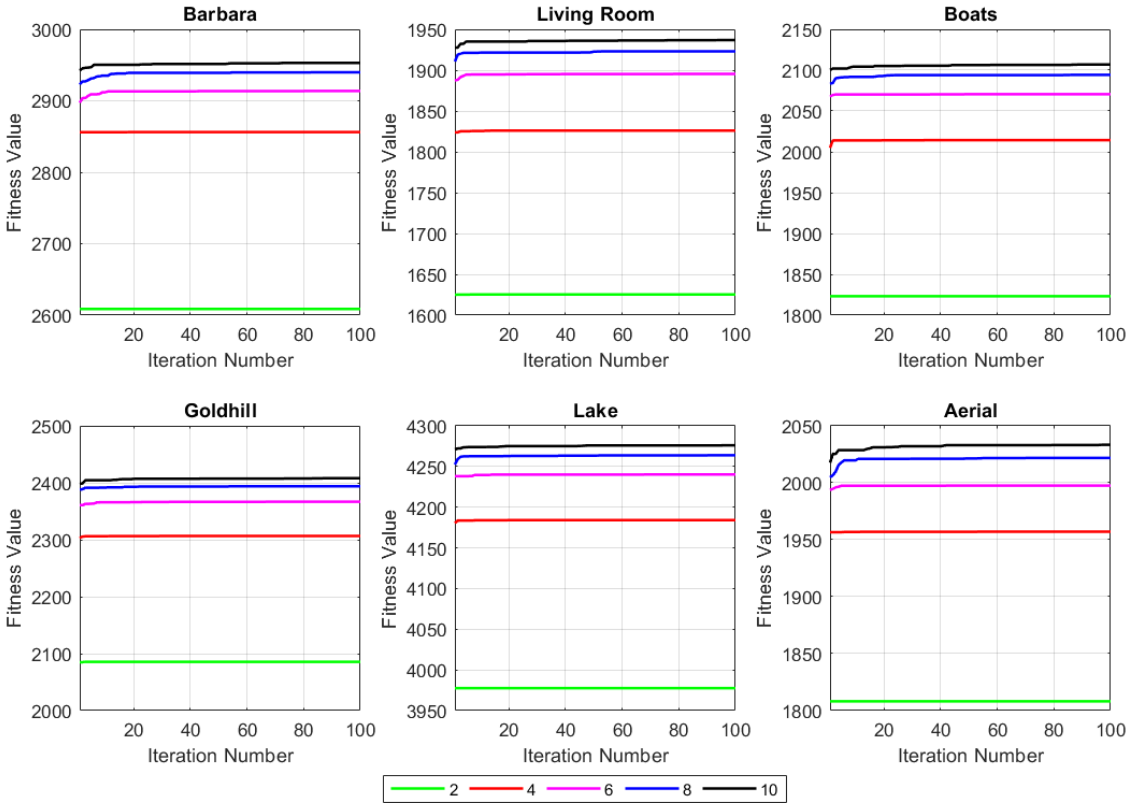
In Table 5, the threshold values determined by the GWO-HS algorithm are given for threshold levels ranging from 2 to 10 for the Otsu and Kapur entropy-based thresholding methods. These values are threshold values for the best result in 50 runs.

Fig. 6 illustrates the convergence curves obtained on all test images of the proposed GWO-HS algorithm. Fig. 6a shows the convergence curves obtained with the Otsu thresholding method for threshold levels of 2, 4, 6, 8, and 10, while Fig. 6b shows the convergence curves obtained with the Kapur entropy-based thresholding method for the same threshold levels. As can be seen from both figures, the proposed GWO-HS algorithm converges quickly for low threshold levels. For large threshold levels, the convergence of the GWO-HS algorithm is fast in the first half of the iterations, while it is slower in the second half.

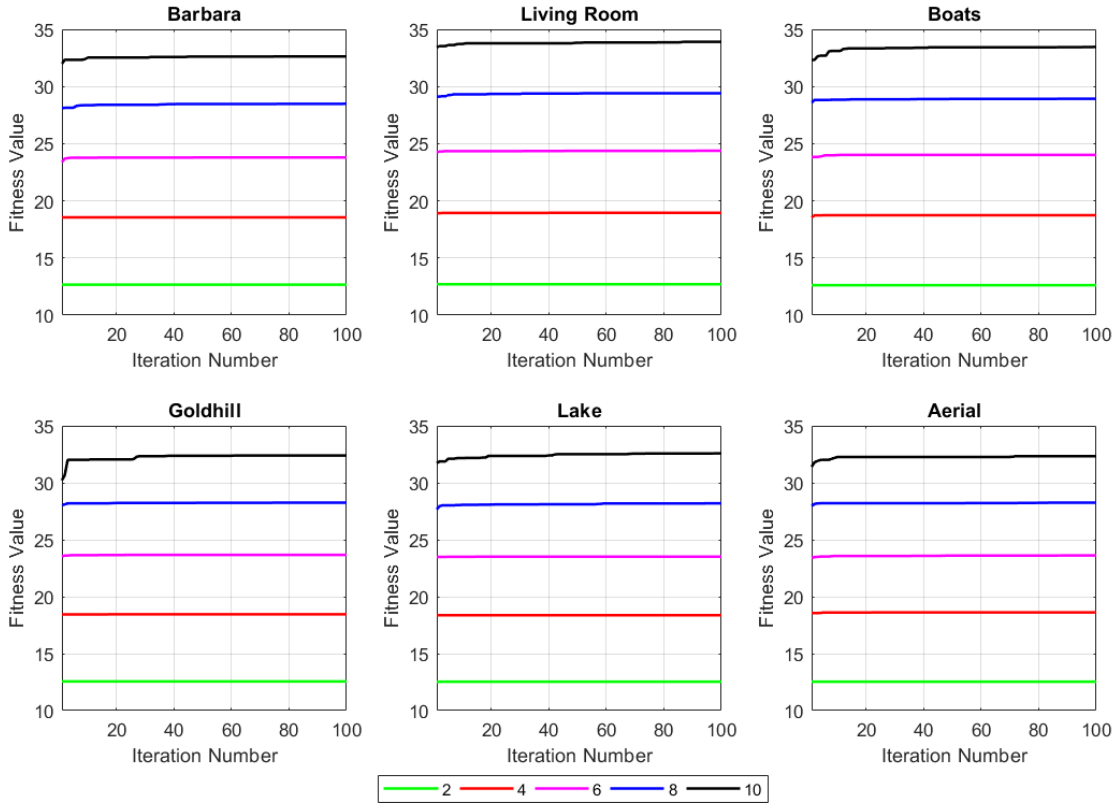
Table 5. *The threshold values determined by the GWO-HS algorithm.*

IMAGES	K	THRESHOLD VALUES

		Otsu	Kapur Entropy-Based
	2	82, 147	96, 168
	3	75, 127, 176	76, 127, 178
	4	66, 106, 142, 182	60, 99, 141, 185
	5	57, 88, 118, 148, 184	58, 95, 133, 172, 210
BARBARA	6	54, 84, 112, 140, 167, 195	55, 87, 119, 151, 185, 221
	7	46, 70, 95, 118, 143, 169, 196	53, 82, 111, 140, 168, 194, 221
	8	45, 68, 91, 112, 133, 153, 174, 199,	49, 73, 97, 122, 147, 172, 196, 222
	9	42, 61, 81, 100, 118, 137, 156, 177, 201	45, 67, 88, 109, 131, 153, 176, 199, 222
	10	41, 59, 78, 96, 114, 132, 149, 167, 186, 207	42, 61, 80, 103, 123, 143, 162, 180, 200, 222
	2	86, 144	91, 172
	3	76, 124, 163	47, 104, 176
	4	57, 98, 133, 169	47, 99, 150, 197
	5	49, 89, 121, 147, 179	44, 88, 128, 167, 200
LIVING ROOM	6	41, 75, 104, 128, 152, 182	41, 84, 122, 161, 198, 236
	7	38, 71, 99, 122, 142, 163, 190	37, 71, 102, 137, 169, 200, 236
	8	36, 66, 92, 112, 129, 147, 167, 193	28, 55, 83, 111, 142, 171, 200, 236
	9	34, 60, 82, 103, 121, 136, 153, 172, 197	25, 49, 75, 100, 125, 150, 176, 202, 236
	10	29, 52, 73, 93, 110, 125, 140, 156, 176, 201	22, 44, 66, 88, 110, 134, 159, 182, 204, 236
	2	93, 155	109, 179
	3	73, 126, 167	63, 120, 179
	4	67, 116, 149, 181	51, 91, 129, 179
	5	54, 95, 129, 154, 184	50, 90, 128, 166, 195
BOATS	6	46, 81, 115, 139, 158, 187	51, 90, 126, 163, 193, 227
	7	43, 74, 105, 130, 148, 165, 193	34, 65, 98, 129, 164, 193, 227
	8	38, 65, 94, 119, 138, 153, 169, 195	31, 61, 94, 125, 154, 178, 204, 234
	9	32, 55, 80, 106, 127, 143, 156, 173, 198	28, 55, 81, 105, 130, 155, 178, 204, 234
	10	31, 54, 78, 102, 123, 138, 150, 162, 178, 201	24, 45, 66, 89, 111, 131, 157, 179, 204, 234
	2	94, 161	91, 158
	3	83, 126, 179	79, 134, 181
	4	69, 102, 138, 186	64, 103, 144, 188
	5	63, 91, 117, 147, 191	59, 95, 132, 166, 200
GOLDHILL	6	61, 88, 112, 138, 171, 207	45, 74, 104, 135, 167, 200
	7	56, 79, 100, 120, 144, 176, 211	45, 72, 100, 128, 153, 178, 205
	8	51, 71, 91, 111, 131, 153, 181, 212	43, 66, 89, 112, 136, 160, 185, 210
	9	48, 67, 85, 102, 118, 137, 159, 186, 214	43, 65, 87, 108, 130, 153, 174, 195, 217
	10	45, 64, 80, 96, 110, 125, 142, 163, 188, 214	41, 60, 78, 97, 116, 135, 155, 174, 195, 216
	2	85, 154	91, 163
	3	78, 140, 194	73, 120, 170
	4	67, 110, 158, 198	69, 112, 157, 195
	5	57, 88, 128, 167, 200	62, 96, 131, 166, 198
LAKE	6	51, 74, 104, 139, 171, 201	37, 69, 102, 135, 168, 199
	7	49, 70, 97, 129, 161, 184, 205	37, 65, 91, 118, 146, 172, 200
	8	46, 64, 86, 112, 141, 168, 189, 209	13, 37, 64, 91, 118, 145, 171, 199
	9	43, 59, 77, 99, 124, 151, 173, 191, 210	13, 35, 60, 82, 105, 128, 151, 174, 201
	10	39, 54, 70, 88, 110, 134, 157, 175, 191, 210	13, 34, 58, 80, 102, 124, 147, 170, 191, 211
	2	125, 178	68, 159
	3	109, 147, 190	68, 130, 186
	4	104, 134, 167, 202	68, 117, 159, 200
	5	99, 123, 148, 175, 205	68, 108, 141, 174, 207
AERIAL	6	61, 101, 125, 150, 177, 206	68, 101, 128, 156, 184, 212
	7	54, 97, 116, 137, 161, 185, 210	31, 68, 101, 128, 156, 184, 212
	8	54, 93, 109, 127, 147, 168, 189, 212	31, 68, 98, 123, 148, 170, 194, 216
	9	49, 91, 106, 122, 139, 157, 176, 195, 216	31, 68, 94, 117, 137, 158, 178, 200, 221
	10	56, 90, 104, 119, 134, 150, 166, 183, 201, 219	27, 68, 84, 102, 119, 139, 160, 181, 201, 222



(a)



(b)

Figure. 6. *The convergence curves for the Otsu and Kapur entropy-based thresholding methods of the proposed GWO-HS algorithm*

CONCLUSIONS

In this paper, a hybrid algorithm called GWO-HS was proposed to solve the multi-level image thresholding problem. The proposed algorithm was obtained by hybridizing the GWO and HS algorithms. The performance of the GWO-HS algorithm was compared with the performance of basic algorithms such as the GA, GWO, HS, PSO and SA. The Otsu and Kapur entropy-based thresholding methods were used in the comparisons. “Barbara”, “Living room”, “Boats”, “Goldhill”, “Lake” and “Aerial” images were used in the experiments. Thresholding was applied on each image for threshold levels ranging from 2 to 10. The results showed that the proposed GWO-HS algorithm has a superior performance compared to other algorithms, especially for high threshold levels.

In the future, the performance of the proposed GWO-HS algorithm can be improved, especially for low threshold levels. Also, the GWO algorithm can be hybridized with another basic algorithm to develop a completely new hybrid algorithm.

REFERENCES

[1] J. Lázaro, J. L. Martín, J. Arias, A. Astarloa, C. Cuadrado, Neuro semantic thresholding using OCR software for high precision OCR applications, *Image and Vision Computing*. 28(4) (2010), 571-578. doi:10.1016/j.imavis.2009.09.011.

[2] G. C. Anagnostopoulos, SVM-based target recognition from synthetic aperture radar images using target region outline descriptors, *Nonlinear Analysis: Theory, Methods & Applications*. 71(12) (2009), 2934-2939. doi:10.1016/j.na.2009.07.030.

[3] Y. T. Hsiao, C. L. Chuang, Y. L. Lu, J. A. Jiang, Robust multiple objects tracking using image segmentation and trajectory estimation scheme in video frames, *Image and Vision Computing*. 24(10) (2006), 1123-1136. doi:10.1016/j.imavis.2006.04.002.

[4] S. Ayas, H. Dogan, E. Gedikli, M. Ekinci, Microscopic image segmentation based on firefly algorithm for detection of tuberculosis bacteria, *23rd Signal Processing and Communications Applications Conference,* IEEE, 2015, 851-854. doi:10.1109/SIU.2015.7129962.

[5] A. Tabak, İ. İlhan, An effective method based on simulated annealing for automatic generation control of power systems, *Applied Soft Computing.* 126 (2022), 109277. doi:10.1016/j.asoc.2022.109277.

[6] İ. İlhan, An improved simulated annealing algorithm with crossover operator for capacitated vehicle routing problem, *Swarm and Evolutionary Computation*. 64 (2021), 100911. doi: 10.1016/j.swevo.2021.100911.

[7] M. Karakoyun, A. Özkış, Development of Binary Moth-Flame Optimization Algorithms using Transfer Functions and Their Performance Comparison. *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*. 3(2) (2021), 1-10. doi: 10.47112/neufmbd.2021.7.

[8] 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.

[9] O. Banimelhem, Y. A. Yahya, Multi-thresholding image segmentation using genetic algorithm, *The International Conference on Image Processing, Computer Vision, and Pattern Recognition (IPCV)*, 2011, 1.

[10] A. Alihodzic, M. Tuba, Improved bat algorithm applied to multilevel image thresholding, *The Scientific World Journal*. (2014), 2014, doi: 10.1155/2014/176718.

[11] I. Brajevic, M. Tuba, Cuckoo search and firefly algorithm applied to multilevel image thresholding, *Studies in Computational Intelligence*. 516 (2014), 115-139. doi: 10.1007/978-3-319-02141-6_6.

[12] V. Rajinikanth, N. S. M. Raja, K. Kamalanand, Firefly algorithm assisted segmentation of tumor from brain MRI using Tsallis function and Markov Random Field, *Journal of Control Engineering and Applied Informatics.* 19(3) (2017), 97-106.

[13] F. Huo, X. Sun, W. Ren, Multilevel image threshold segmentation using an improved Bloch quantum artificial bee colony algorithm, *Multimedia Tools and Applications*. 79(3-4) (2020), 2447-2471. doi: 10.1007/S11042-019-08231-7.

[14] M. H. Mozaffari, W. S. Lee, Convergent heterogeneous particle swarm optimisation algorithm for multilevel image thresholding segmentation, *IET Image Processing*. 11(8) (2017), 605-619. doi: 10.1049/iet-ipr.2016.0489.

[15] N. Muangkote, K. Sunat, S. Chiewchanwattana, Rr-cr-IJADE: An efficient differential evolution algorithm for multilevel image thresholding, *Expert Systems with Applications.* 90 (2017), 272-289. doi: 10.1016/j.eswa.2017.08.029.

[16] N. G. Şengöz, F. Zeybek, Sharp Silhouettes for Obtaining 3D Body Measurements from 2D Images, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*. 4(2) (2022), 8-25. doi: 10.47112/neufmbd.2022.2.

[17] S. Arora, J. Acharya, A. Verma, P. K. Panigrahi, Multilevel thresholding for image segmentation through a fast statistical recursive algorithm, *Pattern Recognition Letters*. 29(2) (2008), 119-125. doi: doi:10.1016/j.patrec.2007.09.005.

[18] N. Otsu, A threshold selection method from gray-level histograms, *IEEE Transactions on Systems, Man,*

and Cybernetics. 9(1) (1979), 62-66.

[19] J. N. Kapur, P. K. Sahoo, A. K. C. Wong, A new method for gray-level picture thresholding using the entropy of the histogram, *Computer Vision, Graphics, and İmage Processing*. 29(3) (1985), 273-285. doi: 10.1016/0734-189X(85)90125-2.

[20] I. Koc, O. K. Baykan, I. Babaoglu, Multilevel image thresholding selection based on grey wolf optimizer, *Journal of Polytechnic*. 21(4), 2018, 841-847. doi:10.2339/politeknik.389613.

[21] S. Mirjalili, S. M. Mirjalili, A. Lewis, Grey Wolf Optimizer, *Advances in Engineering Software.* 69 (2014), 46-61. doi:10.1016/j.advengsoft.2013.12.007.

[22] Z. W. Geem, J. H. Kim, G. V. Loganathan, A New Heuristic Optimization Algorithm: Harmony Search, *Simulation*. 76(2) (2001), 60-68. doi: 10.1177/003754970107600201.

Necmettin Erbakan Üniversitesi
Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi
Journal of Science and Engineering (NEJSE)
DOI: 10.47112/neufmbd.2023.22

Cilt: 5 Sayı:2 Yıl: 2023 | Araştırma Makelesi / Research Article | E-ISSN: 2667- 7989

Şilin Ataklarının Tek Sınıflı Destek Vektör Makinaları ile Tespiti

Halil İbrahim AYAZ [1] **Zehra KAMIŞLI ÖZTÜRK** [2]

[1] Necmettin Erbakan University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, Konya, Türkiye, hiayaz@erbakan.edu.tr *(Corresponding Author)*
[2] Eskişehir Technical University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, Eskişehir, Türkiye, zkamisli@eskisehir.edu.tr

Makale Bilgileri

Makale Geçmişi
Geliş: 12.07.2023
Kabul: 19.09.2023
Yayın: 31.12.2023

Anahtar Kelimeler:
Öneri sistemleri,
Şilin atakları,
Tek sınıflı destek vektör makinaları.

ÖZ

Öneri sistemleri çeşitli çevrimiçi platformlarda hayati bir rol oynar ve kullanıcıların tercihlerini göz önünde bulundurarak yeni ürünler, hizmetler ve içerikler keşfetmelerine yardımcı olur. Bununla birlikte, bu sistemler, kötü niyetli kullanıcıların derecelendirmeleri yapay olarak şişirdiği veya söndürdüğü ve önyargılı önerilere yol açtığı şilin saldırıları yoluyla manipülasyona karşı savunmasızdır. Bu saldırıları araştırmanın, anlamanın ve hafifletmenin önemini vurgulamak çok önemlidir. Bu tür saldırıları tespit etmek, tavsiye sistemlerinin bütünlüğünü ve etkinliğini korumak için çok önemlidir. Literatürde, şilin saldırılarını tespit etmek için birçok çalışma sunulmuştur. En iyi bilinen kümeleme yöntemleri farklı saldırı modelleri için uyarlanmıştır. Bu makalede, şilin saldırılarını tespit etmek için gürbüz bir teknik olarak Tek Sınıflı Destek Vektör Makineleri kullanımını araştırıyoruz. Tek Sınıflı Destek Vektör Makinaları, öncelikle anomali tespiti ve aykırılık tespiti görevleri için tasarlanmış geleneksel Destek Vektör Makinelerinin özel bir çeşididir. Önerilen yöntemi doğrulamak için MovieLens100K veri kümesi kullanılmıştır. Sonuç olarak, farklı boyut ve doluluk oranlı saldırılar için hassasiyet ve geri çağırma değerleri verilmiştir.

Shilling Attack Detection with One Class Support Vector Machines

Article Info

Article History
Received: 12.07.2023
Accepted: 19.09.2023
Published: 31.12.2023

Keywords:
Recommender systems,
Shilling attacks,
OCSVM.

ABSTRACT

Recommender systems play a vital role in various online platforms, assisting users in discovering new products, services, and content considering their preferences. However, these systems are vulnerable to manipulation through shilling attacks, where malicious users artificially inflate or deflate ratings, leading to biased recommendations. It is crucial to emphasize the importance of researching, understanding, and mitigating these attacks. Detecting such attacks is crucial to maintaining the integrity and effectiveness of recommender systems. In the literature, lots of studies are presented to detect shilling attacks. The most well-known clustering methods are adapted for different attack models. This paper explores using One-Class Support Vector Machines (OCSVM) as a robust technique for detecting shilling attacks. One-Class SVMs are a specialized variant of the traditional Support Vector Machines, primarily designed for anomaly and novelty detection tasks. MovieLens100K dataset is used to validate the proposed method. As a result, precision and recall values are given for different attack and filler sizes.

Atıf/Citation: Ayaz, H.İ. & Kamışlı Öztürk, Z. (2023). Shilling attack detection with one class support vector machines, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*, *5*(2), 246-256. https://doi.org/10.47112/neufmbd.2023.22

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

INTRODUCTION

Recommender systems have become indispensable in our digital lives, aiding us in discovering new products, services, and content. These systems leverage user preferences and behaviors to provide personalized recommendations. Recommender systems have broad application areas in the real world, such as e-commerce [1,2], healthcare [3,4], energy [5,6], e-learning [7,8], and social networks [9].

Despite their growing popularity, recommender systems face a persistent threat known as shilling attacks [10–12]. These attacks undermine the trustworthiness and integrity of these systems, potentially leading to biased recommendations and compromised user experiences. It is essential to shed light on this issue and explore potential solutions to safeguard recommender systems from such attacks. Classification [13,14], clustering [15–17] and statistical [18] based approaches have been proposed to detect these attacks.

Shilling attacks entail inserting false or biased data into the recommender system's algorithms in an effort to change the results produced by the system. Attackers may make several fictitious user identities, dishonestly review products, or offer cunning commentary to influence recommendations in their favor. Attackers try to sway the algorithms' knowledge of user preferences and skew the recommendations by taking advantage of the system's reliance on historical user data.

Shilling attacks not only undermine user trust but also jeopardize the integrity and fairness of recommender systems. Attackers can alter the underlying algorithms and prejudice the recommendation process by injecting false or manipulated data. This can have a cascading effect, maintaining certain things or preferences while marginalizing others. As a result, diverse and useful recommendations may be repressed, resulting in a limiting of user experiences and limited exposure to new information.

An attack profile is defined by Bhaumik et al. [18] is given in Table 1. An attack profile consists of four main parts. Selected items (I_S) that have specific characteristics decided by attackers to make the attack harder to detect. For example, some attacks select popular items [19,20] whereas some attacks select unpopular items [21]. Filler items (I_F) are randomly chosen items to score with target item. Filler items score for making attack profiles difficult to detect. For a genuine user, it is not possible to scores all items in the database. Unrated items (I_O) aren't rate in attack profiles as with genuine users. Target item (I_T) is the item that rates want to be increased or decreased depending on the type of attacks. Some attack models don't include all the parts of this example.

Table 1. *An example attack profile*

I_S	I_F	I_O	I_T
Selected Items	Filler Items	Unrated Items	Target Item

Different attack models are generated to decrease detect possibility. The basic attack models are random and average is the simplest attack models in the literature. These attack models don't have selected items parts. In random attack model, filler items are rated by general mean [22]. On the other hand, filler items are rated by items' rate means in average attack model [23]. Target item is rated maximum or minimum rate considering attack type. For push attacks, target item is rated with maximum rate. for pull attacks, target item is rated with minimum rate. Bandwagon attacks are the extension of the random and average attacks. There are two types of bandwagon attacks in the literature; random and average bandwagon attacks. In both bandwagon attack types, popular items are selected and maximum rates are given with target item. Filler items are rated similar way in random and average attack.

Segment attacks are more effective in item-based recommender systems. In segment attacks, users associated with a specific product is selected and recommendations are proposed to these users [24]. Core profiles that generated from user database are used in probe attacks [21]. Target items rate is manipulated in used profiles. Aforementioned attack models are generally push attack models. They provide increasing popularity of target item [25]. To decrease popularity of target item, love/hate, reverse bandwagon and perfect knowledge attack models are proposed in the literature [21,26].

The literature analyzes shilling attack detection methods in three main areas: unsupervised, semi-

supervised, and supervised. Unsupervised methods are preferred over other methods. With different clustering methods, attacks can be detected without requiring any class labels for existing data. Since the ratings made by attack profiles will exhibit an abnormal distribution, they will be excluded from the clusters formed by genuine profiles.

The labels of data aren't supported in clustering algorithms [27]. Different clustering methods are used for shilling attack detection in the literature. In this study, suspicious user ratings of users are extracted by Markov chaining. Then, suspicious users are detected by hierarchical clustering of the obtained suspiciousness degrees [28]. In another study, the scoring behavior of users in the database is examined by extracting four detection features. Then, using PCA and k-means methods, a set of suspicious users is created. the gathering behavior of suspicious users is evaluated to distinguish between attackers and real users. Thus, the aim is to increase the accuracy rate [29].

The authors investigate the advantages of integrating the soft co-clustering algorithm with the user propensity similarity method, and they provide a soft co-clustering with propensity similarity model for detecting shilling attacks [30]. Another study investigates the attributes a profile must have to be an attacker. The user-product score matrix, the user-connection matrix, and the similarity between users are used to determine whether there are anomalies between the ratings. The k-means method detects attacker users with the obtained information [31]. In the study, a new attribute is proposed for attack users. Then three alternative detection model is proposed for shilling attacks [32].

Supervised methods need labeled data for classification to further data. In recommender systems, support vector machines are preferable for detecting attack users. In [33] uses a modified SVM model for attack detection. Gaussian Mixture Model is used as a machine-learning model to obtain high detection rates. In some scenarios, there are a few labeled data for detection. In this case, semi-supervised methods help to detection of shilling attacks. The well-known classification method Naïve Base is used to classify shilling attacks [34]. This study uses the Expectation Maximization (EM) algorithm to develop the initial classifier iteratively. In another study [35], Co-Forest algorithm is used for attack detection semi-supervised.

SVM is a powerful method for classification problems. However, it needs to label data for classify data. The study uses one class SVM to detect shilling attacks in the data. The One-Class Support Vector Machines (SVMs) represent an intriguing and powerful tool for addressing various challenges in machine learning and data analysis. One-Class SVMs are a specialized variant of the traditional Support Vector Machines, primarily designed for anomaly detection and novelty detection tasks.

The application of One-Class SVMs can be particularly valuable in multiple domains, including computer science, engineering, social sciences, and even natural sciences. These algorithms allow researchers to tackle problems where the focus is on identifying rare or unusual observations distinct from the majority of the data points. By doing so, One-Class SVMs aid in understanding exceptional patterns, detecting outliers, and characterizing anomalies that deviate significantly from the norm.

One-Class SVMs operate on the principle of separating a high-dimensional feature space into two regions: the region that contains the majority of the data (normal instances) and the region that represents the outliers or anomalies. This separation is achieved by constructing an optimal hyperplane that maximizes the margin between the normal instances and the origin of the feature space. In this way, One-Class SVMs learn to encapsulate the characteristics of normal data instances and provide a measure of their separability.

One-Class SVMs can be employed in various scenarios. For instance, in computer science, these algorithms can help identify cybersecurity threats, detect network intrusions, or distinguish malicious software from benign programs [36]. In engineering, One-Class SVMs can aid in fault diagnosis, anomaly detection in industrial processes, or quality control in manufacturing [37,38]. Social sciences can benefit from One-Class SVMs for identifying abnormal behavior patterns in human activities, fraudulent transactions in finance, or anomalous trends in sociological studies [39,40]. Even in natural sciences, these algorithms can assist in detecting rare events, outliers in environmental data, or anomalies in biological systems [41].

One of the key advantages of One-Class SVMs is their ability to operate with limited training data. Given that anomaly detection problems typically involve sparse and imbalanced datasets, One-Class SVMs excel in capturing the underlying structure of normal instances while being robust to the presence of outliers. Moreover, these algorithms provide a measure of confidence or probability associated with the classification, aiding researchers in interpreting the significance of detected anomalies.

Despite their numerous advantages, One-Class SVMs also have certain limitations. The choice of appropriate kernel functions, which are responsible for mapping the data into high-dimensional spaces, can significantly impact the performance of these algorithms. Optimization aims to improve the performance of the algorithms [42]. Parameter optimization is important for optimization problems [43]. Additionally, selecting optimal parameters, such as the kernel width and the regularization parameter, often requires careful tuning and cross-validation [44–49]. There are two parameters for OCSVM, v and ρ. v takes values between 0 and 1 and control the level of relaxation, and ρ is the bias term. These parameters are explained in detail in the next section. Their level is highly effective on accuracy rate of method. In Figure , effect of different levels of parameter is given. In Figure 1.a, basic levels of parameters are given. For these levels, train error is 9.5% and novel regular error is 20% and novel abnormal error is 0%. As we can see from Figure 1.a, an overfitting is observed for this scenario. All outliers are classified correctly, but errors for regular item is high. If the ρ is decreased while v is same boundaries are so large then, abnormal items are in the normal region. When two parameter levels are decrease, normal items errors are low, but abnormal items error is still high. If parameter levels are selected as v=0.01, ρ=0.1, the best accuracy rate is obtained. However, this level is not optimal. Different methods are proposed for parameter selection, these methods will be given at the end of this section.

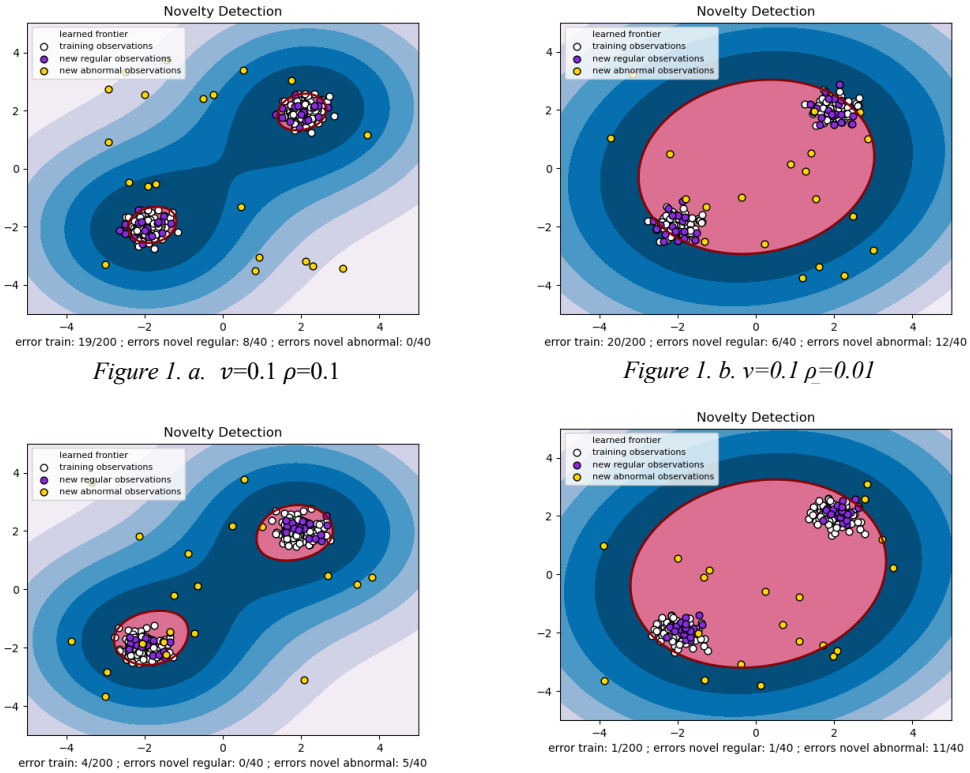


Figure 1. a. v=0.1 ρ=0.1 *Figure 1. b.* v=0.1 ρ=0.01

Figure 1. c. v=0.01 ρ=0.1 *Figure 1. d.* v=0.01 ρ=0.01

Figure 1. *Effects of different levels of OCSVM parameters*

In this study, the OCSVM method is adapted to the recommender system for shilling attack detection. Hyperparameters of OCSVM are selected by an unsupervised method.

Aforementioned studies show that there is a broad literature about shilling attack detection. In this study, unlike the literature, attack detection with one class support vector machines is presented. Thus, it is possible to detect different attacks with the model to be built with only the information of genuine users. Hyperparameters

of OCSVM is provided by Quick Model Selection method.

This study organized as follow: in introduction section, the problem and attack types are defined. A literature review is given about the problem, attack types, attack detection methods and used methods in the study. Furthermore, motivation of the study is given in the introduction section. In materials and methods, OCSVM algorithm is defined and pseudo codes of used algorithms are given. Followingly, in experimental evaluation section, an example is given to validate to proposed methodology. Discussion of results are given in this section. Lastly, in conclusions, results of study and future directions are given.

MATERIALS AND METHODS

OCSVM method is introduced in this section. In this study, a one-class classifier is needed to classify genuine users from attack profiles. Basically, single class classifiers can be grouped into four categories: intensity-based, distance-based, reconstruction-based and boundary-based. Since the obtained model will be used in the future, the boundary-based OCSVM method is preferred.

One-Class Support Vector Machines

The primal quadratic problem that defines the OCSVM classifier is

$$\begin{aligned} &\min_{\omega,\xi,\rho} \frac{1}{2}\left\|\omega^2\right\| + \frac{1}{vn}\sum_{i=1}^{n}\xi_i - \rho \\ &s.t.\left\langle \omega.\varphi\left(x_i\right)\right\rangle \geq \rho - \xi_i \\ &\xi_i \geq 0, i = 1,2,...,n \end{aligned} \tag{1}$$

where $\omega \in R^d$, $\xi = \left[\xi_1,...,\xi_n\right]$ are slack variables, ρ is a bias term, and $0 < v \leq 1$. Slack variables allow to relax the constraints imposed by the problem. The v parameter controls the level of relaxation. If v is set near 0, the penalty term $\sum_{i=1}^{n}\xi_i$ vanishes. In other words, it causes overfitting, the model aims to separate all points in the dataset. In contrast, if this parameter is very close to 1, the algorithm has more latitude to minimize (1). In this case underfitting is observed. Most of the points labeled as anomaly.

(1) is transformed into the following quadratic dual problem using Lagrange multipliers in order to avoid computing the explicit mapping:

$$\begin{aligned} &\min_{[a_i]} \frac{1}{2}\sum_{i,j} a_i a_j k\left(x_i, x_j\right) \\ &s.t. 0 \leq a_i \leq 1/vn \\ &\sum_{i=1}^{n} a_i = 1,\ i = 1,2,...,n \end{aligned} \tag{2}$$

Shilling attacks pose a significant threat to user trust in recommender systems. When users perceive recommendations as biased or manipulated, their confidence in the system diminishes. Users may question the authenticity of the recommended items and the system's ability to understand their preferences accurately. This erosion of trust can lead to decreased engagement, reduced satisfaction, and even abandonment of the recommender system altogether.

The pseudo code of proposed method is given in Algorithm 1. In the proposed study, firstly most-rated 50 items are selected from user item matrix. Then each item matrix is calculated. Followingly, train test and attack profiles are constructed. Model parameter optimization is provided by Quick Model Selection method for each train set. In this study 5-fold cross-validation is applied. For each test set model validation is provided.

In this study, 10 attack set is added to the dataset separately for each item, attack size and filler size. These different attack sets are predicted with fitted model. Then performance metrics are calculated.

Algorithm 1: Shilling Attack Detection wit OCSVM

Inputs: User-Item Matrix (X)

for $k \leftarrow 1$ to 50 **do**
    Find most rated 50 items
    Construct item's matrix for each item
    Construct train, test, and attack sets
    Obtain optimal parameter for each train set for OCSVM
    for $j \leftarrow 1$ to 5 **do**
        fit OCSVM model for item i train set j
        Predict train set j
        Calculate train accuracy rate
        for $k \leftarrow 1$ to 10 do
            Predict attack set k, injected to item i
        end for
        Calculate precision and recall values
    end for
end for

EXPERIMENTAL EVALUATION

In this study, MovieLens100K dataset is used as an experimental example. This dataset includes 100 000 ratings form 943 users to 1652 movies. Ratings take values between 0 and 5.

The dataset used in this study consists of four columns of data. The first column is the user id, the second column is the item number, the third column is the score given and the last column is the time stamp at which the score was given. In the data pre-processing step, these data were transformed into matrices for each item. The column values of the resulting matrices are the ids of the movies and the rows are all the scores of the users who rated that product. In this way, the data was made ready for OCSVM.

In this study, k-fold cross validation is applied for model validation. In the training dataset only genuine profiles are used. 80% of genuine profiles are used for training dataset and remain 20% percent of genuine profiles are used for test dataset. Additionally, attack profiles are tested with constructed model. Accuracy rates of training dataset is given in Table 2. All training datasets are used for all types attacks for different filler and attack sizes. However, small changes are observed for accuracy rates. The reason of mentioned small changes are k-fold cross validation. Different parts are selected randomly as train and test samples for each replication. The flowchart of proposed algorithm is given in Figure 2.

Table 2. *MovieLens100K dataset training dataset accuracy rates*

	Attack Size	1			3			5		
	Filler Size	1	3	5	1	3	5	1	3	5
Accuracy	Random	0,9795	0,9806	0,9795	0,9812	0,9805	0,9792	0,9821	0,9821	0,9804
	Average	0,9800	0,9798	0,9795	0,9813	0,9806	0,9800	0,9827	0,9810	0,9807
	Mixed-Attack	0,9793	0,9802	0,9795	0,9821	0,9801	0,9795	0,9825	0,9798	0,9800

Three types of attacks are injected to data, random, average and mixed attacks. Mixed attack consists of random and average attacks. These attacks are injected to most rated 50 items in the dataset. 10 replications are provided for each item. Finally, Table 3 is obtained for all test results. In Table 3, recall, precision, and F1-measure scores are given for all attack models for different attack and filler size. In general, above 96 percent

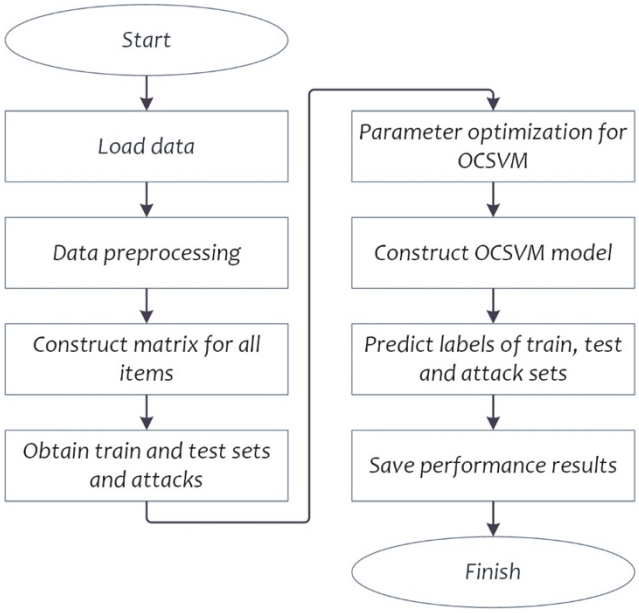


Figure 2. *Flowchart of proposed algorithm*

results are obtained for F1-Measure. Especially, lower filler sizes give better results than high filler sizes. In this study, quick model selection [46] method is used to predict hyperparameters of OCSVM. Different hyperparameter estimation methods can achieve higher scores for their performance metrics.

Table 3. *MovieLens100K Dataset Test Results*

	Attack Size	1			3			5		
	Filler Size	1	3	5	1	3	5	1	3	5
Recall	Random	1,0000	0,9994	0,9946	1,0000	0,9991	0,9840	1,0000	0,9982	0,9741
	Average	1,0000	0,9997	0,9972	1,0000	0,9996	0,9904	1,0000	0,9990	0,9843
	Mixed-Attack	1,0000	0,9999	0,9974	1,0000	0,9995	0,9896	1,0000	0,9989	0,9849
Precision	Random	0,9431	0,9424	0,9423	0,9479	0,9445	0,9486	0,9486	0,9475	0,9430
	Average	0,9465	0,9431	0,9424	0,9493	0,9458	0,9510	0,9510	0,9479	0,9457
	Mixed-Attack	0,9465	0,9431	0,9424	0,9493	0,9458	0,9510	0,9510	0,9479	0,9457
F1-Measure	Random	0,9707	0,9701	0,9678	0,9733	0,9710	0,9625	0,9736	0,9722	0,9583
	Average	0,9725	0,9706	0,9690	0,9740	0,9720	0,9664	0,9749	0,9728	0,9646
	Mixed-Attack	0,9720	0,9705	0,9691	0,9734	0,9714	0,9658	0,9749	0,9725	0,9641

The results show that the accuracy rates, which are limited to 98% in the learning set, increase up to 100% in the test set. There are relative decreases in performance metrics as the attack size and fill rate increase. In this study, attack users are considered positive observations. However, handled data is a sparse data. The filler rates of the data are about 6%. If an appropriate hyperparameter selection method is choose for this data, results will be better.

CONCLUSIONS

Recommender systems are a powerful technique to cope with information overload problems. However, shilling attacks pose a significant challenge to the trustworthiness and integrity of recommender systems. It is crucial to emphasize the importance of researching, understanding, and mitigating these attacks. We can foster more reliable, fair, and user-centric recommender systems by developing robust defenses and advancing the field's knowledge. Ultimately, this will lead to enhanced user satisfaction, increased trust, and more meaningful recommendations that align with individual preferences and interests.

In the literature, supervised, semi-supervised, and unsupervised methods are proposed to detect shilling attacks. In the study, a mathematical detection algorithm is adapted to recommender system to shilling attack detection. Incorporating One-Class Support Vector Machines into research and analysis can greatly enhance the understanding and detection of anomalies in various domains. Their ability to identify and characterize rare events, outliers, and unusual patterns provides valuable insights and can contribute to advancements in fields ranging from computer science and engineering to social sciences and natural sciences. By leveraging the power of One-Class SVMs, academics can effectively address the challenges posed by anomaly detection. Different hyperparameter selection methods are investigated and an unsupervised method is selected for OCSVM hyperparameters. In this study, OCSVM method is applied for different attack and filler sizes for MovieLens100K dataset. Accuracy rates are given for all scenarios.

Generally, dataset used for recommender systems are sparse datasets. For this reason, new hyperparameter selection algorithms for OCSVM can propose in future studies. This study uses movie database as experimental evaluation, different datasets can be used in further studies. Sigmoid kernel function is used in this study. In the future studies, different kernel functions can be presented for shilling attacks. Additionally, boundary-based one class classification algorithm is used in this study. For future studies, different classifiers can be used for classification method.

Acknowledgements

This study is supported by Eskisehir Technical University, Scientific Research Projects Committee (ESTUBAP- 20DRP076).

REFERENCES

[1] Y. Ge, S. Zhao, H. Zhou, C. Pei, F. Sun, W. Ou, Y. Zhang, Understanding Echo Chambers in E-commerce Recommender Systems, *SIGIR 2020 - Proceedings of the 43rd International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval*, *Association for Computing Machinery, Inc*, Rutgers University, Piscataway, United States, 2020: ss. 2261-2270. doi:10.1145/3397271.3401431.

[2] R.M. Frey, D. Vučkovac, A. Ilic, A secure shopping experience based on blockchain and beacon technology, içinde: G. I., S. A. (Ed.), *CEUR Workshop Proceedings*, *CEUR-WS*, ETH Zurich, Weinbergstrasse 56/58, Zurich, 8092, Switzerland, 2016.

[3] Y. Han, Z. Han, J. Wu, Y. Yu, S. Gao, D. Hua, A. Yang, Artificial Intelligence Recommendation System of Cancer Rehabilitation Scheme Based on IoT Technology, *IEEE Access*. 8 (2020), 44924-44935. doi:10.1109/ACCESS.2020.2978078.

[4] C.C. Yang, L. Jiang, Enriching User Experience in Online Health Communities Through Thread Recommendations and Heterogeneous Information Network Mining, *IEEE Transactions on Computational Social Systems*. 5 (2018), 1049-1060. doi:10.1109/TCSS.2018.2879044.

[5] A. Alsalemi, Y. Himeur, F. Bensaali, abbes amira, C. Sardianos, I. Varlamis, G. Dimitrakopoulos, achieving Domestic Energy Efficiency Using Micro-Moments and Intelligent Recommendations, *IEEE Access*. 8 (2020), 15047-15055. doi:10.1109/aCCESS.2020.2966640.

[6] C. Sardianos, I. Varlamis, G. Dimitrakopoulos, D. Anagnostopoulos, A. Alsalemi, F. Bensaali, Y. Himeur, A. Amira, REHAB-C: Recommendations for Energy HABits Change, *Future Generation Computer Systems*. 112 (2020), 394-407. doi:10.1016/j.future.2020.05.041.

[7] Q. Li, J. Kim, A deep learning-based course recommender system for sustainable development in education, *Applied Sciences (Switzerland)*. 11 (2021). doi:10.3390/app11198993.

[8] P. V. Kulkarni, S. Rai, R. Kale, Recommender System in eLearning: A Survey, *Proceeding of International Conference on Computational Science and Applications*. (2020), 119-126. doi:10.1007/978-981-15-0790-8_13.

[9] S. Puglisi, J. Parra-Arnau, J. Forné, D. Rebollo-Monedero, On content-based recommendation and user privacy in social-tagging systems, *Computer Standards and Interfaces*. 41 (2015), 17-27. doi:10.1016/j.csi.2015.01.004.

[10] A. Bilge, Z. Ozdemir, H. Polat, A novel shilling attack detection method, *Procedia Computer Science*, 31 (2014), 165-174. doi:10.1016/j.procs.2014.05.257.

[11] M. Si, Q. Li, Shilling attacks against collaborative recommender systems: a review, *Artificial Intelligence Review*. 53 (2020), 291-319. doi:10.1007/s10462-018-9655-x.

[12] F. Rezaimehr, C. Dadkhah, A survey of attack detection approaches in collaborative filtering recommender systems, *Artificial Intelligence Review*. 54 (2021), 2011-2066. doi:10.1007/s10462-020-09898-3.

[13] Z. Batmaz, B. Yilmazel, C. Kaleli, Shilling attack detection in binary data: a classification approach, *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*. 11 (2020), 2601-2611. doi:10.1007/s12652-019-01321-2.

[14] F. Zhang, Q. Zhou, HHT-SVM: An online method for detecting profile injection attacks in collaborative recommender systems, *Knowledge-Based Systems*. 65 (2014), 96-105. doi:10.1016/j.knosys.2014.04.020.

[15] S. Zahra, M.A. Ghazanfar, A. Khalid, M.A. Azam, U. Naeem, A. Prugel-Bennett, Novel centroid selection approaches for KMeans-clustering based recommender systems, *Information Sciences*. 320 (2015), 156-189. doi:10.1016/j.ins.2015.03.062.

[16] F. Zhang, S. Wang, Detecting Group Shilling Attacks in Online Recommender Systems Based on Bisecting K-Means Clustering, *IEEE Transactions on Computational Social Systems*. 7 (2020), 1189-1199. doi:10.1109/TCSS.2020.3013878.

[17] R. Bhaumik, B. Mobasher, R. Burke, A Clustering Approach to Unsupervised Attack Detection in Collaborative Recommender Systems, *Proceedings of the 7th IEEE international conference on data mining*. (2011), 181-187.

[18] R. Bhaumik, C. Williams, B. Mobasher, R. Burke, Securing collaborative filtering against malicious attacks

through anomaly detection, *AAAI Workshop - Technical Report*. WS-06-10 (2006), 50-59.

[19] Z. Wu, J. Wu, J. Cao, D. Tao, HySAD: A semi-supervised hybrid shilling attack detector for trustworthy product recommendation, içinde: *Proceedings of the ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 2012: ss. 985-993. doi:10.1145/2339530.2339684.

[20] Z. Yang, Z. Cai, X. Guan, Estimating user behavior toward detecting anomalous ratings in rating systems, *Knowledge-Based Systems*. 111 (2016), 144-158. doi:10.1016/j.knosys.2016.08.011.

[21] B. Mobasher, R. Burke, R. Bhaumik, J.J. Sandvig, Attacks and remedies in collaborative recommendation, *IEEE Intelligent Systems*. 22(3) (2007), 56-63. doi:10.1109/MIS.2007.45.

[22] S.K. Lam, J. Riedl, Shilling recommender systems for fun and profit, içinde: *Thirteenth International World Wide Web Conference Proceedings, WWW2004*, *Association for Computing Machinery*, GroupLens Research, Computer Science and Engineering, University of Minnesota, Minneapolis, MN 55455, United States, 2004: ss. 393-402. doi:10.1145/988672.988726.

[23] R. Burke, B. Mobasher, R. Zabicki, Runa. Bhaumik, Identifying Attack Models for Secure Recommendation, *Beyond Personalization*. (2005), 19-25.

[24] B. Mobasher, R. Burke, R. Bhaumik, C. Williams, Effective Attack Models for Shilling Item-Based Collaborative Filtering System, *WEBKDD*. 2005, (2005).

[25] M.P. O'Mahony, N.J. Hurley, G.C.M. Silvestre, Recommender systems: Attack types and strategies, içinde: *Proceedings of the National Conference on Artificial Intelligence*, 2005: ss. 334-339.

[26] C. Williams, B. Mobasher, Thesis: Profile Injection Attack Detection for Securing Collaborative Recommender Systems, (2006), 1-47.

[27] A. Pektaş, O. İnan, Ağaç Tohum Algoritmasının Kümeleme Problemlerine Uygulanması, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 4 (2022), 1-10. doi:10.47112/neufmbd.2022.8.

[28] F. Zhang, Z. Zhang, P. Zhang, S. Wang, UD-HMM: An unsupervised method for shilling attack detection based on hidden Markov model and hierarchical clustering, *Knowledge-Based Systems*. 148 (2018), 146-166. doi:10.1016/j.knosys.2018.02.032.

[29] H. Cai, F. Zhang, An unsupervised method for detecting shilling attacks in recommender systems by mining item relationship and identifying target items, *Computer Journal*. 62 (2019), 579-597. doi:10.1093/comjnl/bxy124.

[30] L. Yang, W. Huang, X. Niu, Defending shilling attacks in recommender systems using soft co-clustering, *IET Information Security*. 11 (2017), 319-325. doi:10.1049/iet-ifs.2016.0345.

[31] A. Davoudi, M. Chatterjee, Detection of profile injection attacks in social recommender systems using outlier analysis, *Proceedings - 2017 IEEE International Conference on Big Data, Big Data 2017*. 2018-Janua (2017), 2714-2719. doi:10.1109/BigData.2017.8258235.

[32] C. Panagiotakis, H. Papadakis, P. Fragopoulou, Unsupervised and supervised methods for the detection of hurriedly created profiles in recommender systems, *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*. 11 (2020), 2165-2179. doi:10.1007/s13042-020-01108-4.

[33] J.M. Alostad, Improving the Shilling Attack Detection in Recommender Systems Using an SVM Gaussian Mixture Model, *Journal of Information and Knowledge Management*. 18(01) (2019). doi:10.1142/S0219649219500114.

[34] L. Zhang, Y. Yuan, Z. Wu, J. Cao, Semi-SGD: Semi-Supervised Learning Based Spammer Group Detection in Product Reviews, *Proceedings - 5th International Conference on Advanced Cloud and Big Data, CBD 2017*. 2017, 368-373. doi:10.1109/CBD.2017.70.

[35] Q. Zhou, L. Duan, Semi-supervised recommendation attack detection based on Co-Forest, *Computers and Security*. 109 (2021), 102390. doi:10.1016/j.cose.2021.102390.

[36] Y. Wang, R. Zhang, N. Masoud, H.X. Liu, Anomaly detection and string stability analysis in connected automated vehicular platoons, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 151 (2023), 104114. doi:10.1016/j.trc.2023.104114.

[37] C. Li, L. Mo, H. Tang, R. Yan, Lifelong condition monitoring based on NB-IoT for anomaly detection of

machinery equipment, *Procedia Manufacturing*. 49 (2020), 144-149. doi:10.1016/j.promfg.2020.07.010.

[38] C. Cao, M. Liu, B. Li, Y. Wang, Mechanical fault diagnosis of high voltage circuit breakers utilizing VMD based on improved time segment energy entropy and a new hybrid classifier, *IEEE Access*. 8 (2020), 177767-177781. doi:10.1109/ACCESS.2020.3027478.

[39] A. Karasmanoglou, M. Antonakakis, M. Zervakis, ECG-Based Semi-Supervised Anomaly Detection for Early Detection and Monitoring of Epileptic Seizures, *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 20 (2023), 5000. doi:10.3390/ijerph20065000.

[40] A.A. Abdulhussein, M.F. Nasrudin, S.M. Darwish, Z.A.A. Alyasseri, A Genetic Algorithm Based One Class Support Vector Machine Model for Arabic Skilled Forgery Signature Verification, *Journal of Imaging*. 9 (2023). doi:10.2139/ssrn.4303232.

[41] T. Cheng, A. Dairi, F. Harrou, Y. Sun, T. Leiknes, Monitoring influent conditions of wastewater treatment plants by nonlinear data-based techniques, *IEEE Access*. 7 (2019), 108827-108837. doi:10.1109/ACCESS.2019.2933616.

[42] M. Karakoyun, A. Özkış, Transfer Fonksiyonları Kullanarak İkili Güve-Alev Optimizasyonu Algoritmalarının Geliştirilmesi ve Performanslarının Karşılaştırılması, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 3 (2021), 1-10.

[43] M. Erişoğlu, N. Yaman, Ridge Tahminine Dayalı Kantil Regresyon Analizinde Yanlılık Parametresi Tahminlerinin Performanslarının Karşılaştırılması, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*. 1 (2019), 103-111.

[44] Y. Guerbai, Y. Chibani, Y. Meraihi, Techniques for Selecting the Optimal Parameters of One-Class Support Vector Machine Classifier for Reduced Samples, *International Journal of Applied Metaheuristic Computing*. 13 (2021,) 1-15. doi:10.4018/ijamc.290533.

[45] S. Wang, Q. Liu, E. Zhu, F. Porikli, J. Yin, Hyperparameter selection of one-class support vector machine by self-adaptive data shifting, *Pattern Recognition*. 74 (2018) 198-211. doi:10.1016/j.patcog.2017.09.012.

[46] Z. Ghafoori, S.M. Erfani, S. Rajasegarar, J.C. Bezdek, S. Karunasekera, C. Leckie, Efficient Unsupervised Parameter Estimation for One-Class Support Vector Machines, *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*. 29 (2018), 5057-5070. doi:10.1109/TNNLS.2017.2785792.

[47] S. Wang, Q. Liu, E. Zhu, J. Yin, W. Zhao, MST-GEN: An Efficient Parameter Selection Method for One-Class Extreme Learning Machine, *IEEE Transactions on Cybernetics*. 47 (2017), 3266-3279. doi:10.1109/TCYB.2017.2707463.

[48] A. Anaissi, A. Braytee, M. Naji, Gaussian Kernel Parameter Optimization in One-Class Support Vector Machines, *Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks.* 2018, doi:10.1109/IJCNN.2018.8489383.

[49] Y. Xiao, H. Wang, W. Xu, Parameter selection of gaussian kernel for one-class SVM, *IEEE Transactions on Cybernetics*. 45 (2015), 941-953. doi:10.1109/TCYB.2014.2340433.

NEÜ PRESS

Necmettin Erbakan Üniversitesi
Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi
Journal of Science and Engineering (NEJSE)
DOI: 10.47112/neufmbd.2023.23

Cilt: 5 Sayı:2 Yıl: 2023 | Araştırma Makelesi / Research Article | E-ISSN: 2667- 7989

Bazı Tahta Malzemelerin Sertlik Değerlerinin Bilgisayar Destekli Vurma Testi ile Tahmini

İmran ORAL [1]

[1] Necmettin Erbakan University, Ahmet Kelesoglu Faculty of Education, Department of Physics Education, Konya, Türkiye, oralimran@erbakan.edu.tr *(Corresponding Author)*

Makale Bilgileri

Makale Geçmişi
Geliş: 30.07.2023
Kabul: 10.10.2023
Yayın: 31.12.2023

Anahtar Kelimeler:
Sertlik,
Vurma testi,
Temas süresi,
Brinell testi.

ÖZ

Tarihi binalarda, tarihi eserlerde, inşaatlarda, ev mobilyalarında, çocuklara yönelik oyun parkları ve bahçeleri gibi daha birçok alanda kullanılan çam, kavak ve MDF laminant gibi belirli ahşap malzemelerin mikrosertlik değerlerinin tahribatsız bir yöntemle kısa sürede belirlenmesi, bu malzemelerin kalite kontrolleri ve dayanıklılıklarının belirlenmesi için önemlidir. Bu tür ahşap malzemelerin sertlikleri genellikle tahribatlı geleneksel yöntemler ile gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle bu araştırma çam, kavak ve MDF laminant gibi bazı ahşap malzemelerin mikrosertlik (HCATT) değerlerinin ilk kez tahribatsız olarak Bilgisayar Destekli Vurma Testi (BDVT) sistemi ile belirlenmesi ve bu HCATT değerleri ile bu malzemelerin literatürden alınan Brinell sertlik (HB) değerleri arasındaki ilişkinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Araştırmada kullanılan tahta malzemelerin HCATT değerleri, BDVT cihazının (BDVTC) vurucu ucu ile tahta malzemelerin yüzeyleri arasında geçen temas süresinden yararlanılarak belirlendi. Bu araştırmada kullanılan her bir tahta malzeme için iki farklı sertlik ölçüm yöntemi ile belirlenen sertlik değerleri arasındaki ampirik eşitlikler ve bu ampirik eşitliklerin c sabiti değerleri belirlenmiştir. Araştırmadan elde edilen sonuçlara göre en kısa temas süresi ortalaması 362 µs ile MDF Laminant malzemede, en uzun temas süresi ise 653 µs ile kavak malzemede tespit edilmiştir. BDVT sistemi ile elde edilen temas süreleri kullanılarak belirlenen HCATT değerlerine göre en düşük sertlik değeri 0.34 MNm^{-1} ile kavak malzemede elde edilirken en yüksek HCATT değeri ise 1.10 MNm^{-1} ile MDF Laminant malzemede elde edilmiştir. Diğer yandan bu araştırmada kullanılan malzemelerin HB ile HCATT değerleri arasında görülen yüksek düzeydeki ilişki, bu tür malzemelerin mikrosertlik değerlerinin tespit edilmesinde malzemeye zarar vermeyen BDVT sisteminin tahribatlı yöntemlerin yerine kullanılabileceğini göstermiştir. BDVT, günümüzde yaygın bir şekilde malzemelerin mikrosertlik ölçümü için kullanılan tahribatlı testlere kıyasla hem daha hızlı hem de daha ekonomik olduğundan BDVT'nin ilgili literatüre önemli bir katkı sağlaması beklenmektedir.

Prediction of Hardness Values of Some Wooden Materials Using Computer-Aided Tap Testing

Article Info

Article History
Received: 30.07.2023
Accepted: 10.10.2023
Published: 31.12.2023

Keywords:
Hardness,
Tap testing,
Contact time,
Brinell test.

ABSTRACT

Rapid and non-destructive determination of microhardness values for specific wood materials such as pine, poplar, and MDF laminate, which are widely used in various fields including historic buildings, artifacts, construction, home furniture, children's playgrounds, and gardens, is crucial for assessing their quality and durability. The hardness of such wood materials is typically assessed using destructive traditional methods. Therefore, this research was conducted to determine the microhardness (HCATT) values of certain wood materials such as pine, poplar, and MDF laminate for the first time non-destructively using the Computer Aided Tap Tester (CATT) system and establishing the relationship between these HCATT values and the Brinell hardness (HB) values obtained from the literature for these materials. The HCATT values of the wood materials used in the study were determined by using the contact time between the tip of the CATT device (CATT) and the surfaces of the wood materials. Empirical equations for each wood material used in this research, representing the relationship between hardness values determined using two different hardness measurement methods, were established, including the constants (c-values). According to the results obtained from the research, the shortest contact time, with an average of 362 µs, was observed in the MDF laminate material, whereas the longest contact time, with 653 µs, was observed in the poplar material. Based on the HCATT values determined using the CATT system, the lowest hardness value was 0.34 MNm^{-1} in the poplar material, and the highest HCATT value was 1.10 MNm^{-1} in the MDF laminate material. On the other hand, the high level of correlation observed between the HB and HCATT values of the materials used in this research indicates that the non-destructive CATT system can be used instead of destructive methods for determining the microhardness values of such materials, without causing any harm to the material. CATT is expected to make a significant contribution to the relevant literature because it is both faster and more cost-effective compared to the destructive tests commonly used for microhardness measurement in materials today.

Atıf/Citation: Oral, İ. (2023). Prediction of hardness values of some wooden materials using computer-aided tap testing, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*, *5*(2), 257-266. https://doi.org/10.47112/neufmbd.2023.23

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

INTRODUCTION

The resistance levels of materials to external environmental conditions and external impacts can be determined by their mechanical properties, such as volume modulus, shear modulus, Poisson's ratio, Young's modulus, and hardness value. Hardness is one of the most important indicators of material strength [1, 2]. Hardness, being a relative concept, is defined as the resistance of a material to friction, cutting, drilling, scratching, or plastic deformation[3, 4]. While hardness was measured in some periods by the friction of various materials with each other, nowadays it is measured based on the force applied to the material surface under certain conditions, the resulting indentation depth, or the rebound heights of loads dropped onto the material surface. In hardness tests, the resistance of a material to an indenter or cutting tool inserted into its surface is measured. Indenters can be in the form of a ball, pyramid, or cone, usually made of materials with much higher hardness than the test material, such as hardened steel, sintered tungsten carbide, or diamond. In most standard tests, the load is applied by gradually pressing the indenter perpendicular to the material surface[4]. The hardness of the materials is determined based on either the indentation surface area resulting from the applied load or the indentation depth of the indenter. Therefore, hardness is generally calculated as the ratio of the permanent indentation surface area to the applied load on the material [5].

Various scales and calculation methods, such as Brinell, Shore D, Vickers, and Rockwell, have been developed to determine the hardness of materials. However, despite the advancements in technology in the 21st century, material hardness is still mainly determined using destructive testing methods. Destructive testing methods damage to the tested materials, rendering them unusable for further testing. Furthermore, these tests require expensive equipment, the expertise of qualified personnel, and extensive evaluation, making them economically impractical. Therefore, non-destructive testing methods, such as ultrasonic testing (UT), have been developed and employed to determine the hardness values of different materials [6-8]. Although UT provides accurate and reliable hardness measurements, it requires the calculation of longitudinal and transverse ultrasonic wave velocities and density values in the materials, which takes some time. Therefore, it is essential to develop hardness measurement methods that are both quicker and more economical. In addition, the hardness values of materials are closely related to their other properties [9-11]. Consequently, using hardness values determined by a rapid and economical method, one can approximately predict the mechanical parameters of materials, such as impact resistance, tensile strength, and Young's modulus, through empirical equations. For example, the Young's modulus (E) of polymers can be directly determined using the relationship established between microhardness and E [12]. Similarly, a relationship has been defined between tensile strength and Vickers hardness (HV) for many copper alloys[13].

Recent studies have shown that the contact time obtained from the impact test can be explained using the mass-spring system model, and the local hardness of a material can be determined during the impact process modeled by the connected mass-spring system using the contact time between the striking tip and the material surface[14]. Due to technological advancements, the time between the striking tip and the material surface can now be measured with high precision in impact tests. Recently developed computer-aided impact test systems have become widely used, especially in the aerospace industry. In this study, the "Computer Aided Tap Tester (CATT)," developed by ASI, Inc. (USA), was used to determine the hardness values of some wood materials.

The CATT system was originally developed for the quality control of honeycomb sandwich structures used in aerospace, rockets, and spacecraft, as well as for the quality control of ships, boats, and vessels in the maritime industry [14]. The CATT system uses an accelerometer with a known mass as the striking tip. The electronic circuit of the CATT system can measure the contact time (τ) between the accelerometer and the material surface with high precision. Hsu, Barnard, Peters, and Dayal [14] conducted hardness measurements with both CATT and mechanical tests on various materials with different compositions in the same areas to investigate whether the local hardness value obtained from the impact

test represents the actual hardness of the examined material. Because of these measurements, they found that the hardness values determined by the impact test on the examined material surface and those determined by static load tests were highly consistent. However, the CATT system is currently only used for the quality control of honeycomb sandwich structures in the aerospace industry to detect damage in these materials. Therefore, in this study, the CATT system was used for the first time to determine the hardness values (HCATT) of some wood materials such as pine, poplar, and medium-density fiberboard (MDF) laminate.

Although many hardness measurement methods are used in hardness measurements of materials, the most used methods for wood-type materials are the Janka and Brinell methods [15, 16]. In the research conducted by Schwab [17], different hardness methods were compared for 16 wood species, and it was determined that the Brinell hardness test gave the most reliable results for wood materials. Therefore, the relationship between Brinell hardness values and HCATT values of the materials used in this research was examined.

However, the Brinell hardness test and all others are still destructive testing methods. Thus, these destructive hardness measurement methods are both damaging to the tested materials and economically inefficient. Therefore, this research was conducted to develop a novel, non-destructive, fast, and cost-effective testing method that can be used to measure the microhardness values of various kinds of woods such as pine, poplar, and MDF laminate. In pursuit of this goal, in this study, the microhardness values of various kinds of woods such as pine, poplar, and MDF laminate were determined using a computer-aided tap tester (CATT) system. The microhardness values (HCATT) of these wood materials were compared with the Brinell hardness (HB) values obtained from the literature, and the coefficients of the empirical equations (c-values) established between HCATT and HB.

MATERIALS AND METHODS

Equipment and Materials Used in the Study

In this research, pine (15cmx15cmx2.3cm), poplar (15cmx15cmx2.4cm), and MDF laminate (15 cm x 15 cm x 2.4 cm) wooden materials were procured from the carpentry industry in Konya (Figure 1). A Computer-Aided Tap Tester (CATTV5_3-ASI, USA) was employed for the impact tests and contact time measurements of the wooden materials (Figure 2).

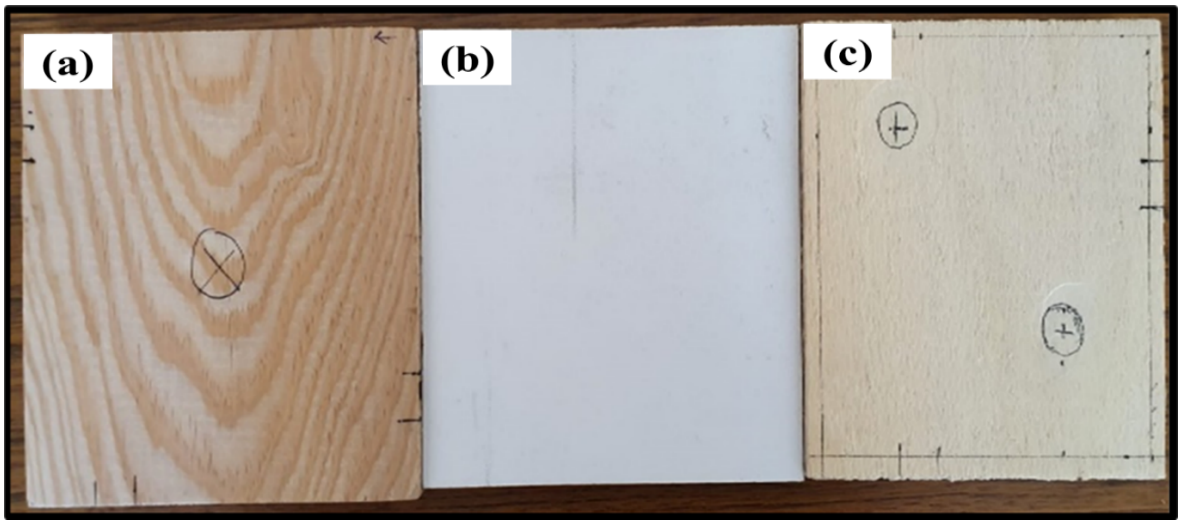


Figure 1. *Images of the wooden materials used in this research: (a) pine, (b) MDF laminate, and (c) poplar*

Computer Aided Tap Tester (CATT) for Microhardness Measurement

Previous studies have shown that the output signal obtained using an accelerometer during the impact process on material corresponds to half of the period of a sinusoidal signal. In the tap test, both the amplitude and

width of the obtained signal can be used. The signal width, which represents the contact time, is independent of the applied force in the tap test, whereas the amplitude is force dependent. This is because, in simple harmonic



Figure 2. *The computer-aided tap tester system used in this research*

motion, the vibration period is independent of the amplitude of the motion. This finding has been a fundamental factor enabling the tap test to eliminate the human factor and become a test and damage imaging method applicable to materials. Therefore, in the tap test, the mass of the striking tip (m_T) and the contact time (τ) between the striking tip and the material surface are two fundamental variables for calculating the local hardness values (k) on a material surface. Thus, assuming that half of the period of a simple harmonic motion of a mass-spring system corresponds to the contact time (τ) between the striking tip and the material surface during the tapping process, the relationship between the mass of the striking tip (m_T [kg]), the contact time obtained during the tapping process (τ [μs]), and the material hardness (HCATT or k) are given in Equation (1) [14].

$$HCATT\left(Nm^{-1}\right) = \left(\frac{\pi}{\tau}\right)^2 m_T \qquad (1)$$

In this study, the hardness value (HCATT) of each material was determined at different points on the surface of each wooden material by conducting a tap test using the CATT shown in Figure 2. After repeating the tap test ten times at each point, the average contact times (τ_{avg}) between the striking tip and the material surface and the mass of the striking element (accelerometer + striking head) (m_T) were calculated and used in Equation (1) to determine the hardness value (HCATT). HCATT measurements for wooden materials were performed with a relative error of 10.06%. The Brinell hardness (HB) values shown in Table 2 were obtained from previous studies in the literature without conducting any Brinell tests on the materials.

RESULTS

In this section of the study, the contact times obtained from the tap test conducted with CATT for each material are presented in Table 1. In addition, the hardness values obtained using CATT and the Brinell (HB) values obtained from the literature are provided in Table 2. These results were analyzed, interpreted, and occasionally compared with literature findings.

Contact times obtained from the Tap Test of Wooden Materials

The contact times obtained from the tap tests repeated ten times on the upper surfaces of some wooden materials at different points are presented in Table 1.

Table 1. *Data on contact times were obtained from computer-aided tap tests for some wooden materials.*

MATERIALS	Contact times (τ[s])										$\bar{\tau}$(μs)	St.Dev.
Poplar	718	700	729	686	663	650	603	528	630	621	653	58
Pine	429	391	401	394	437	422	409	398	396	400	408	15
MDF Laminate	365	372	345	375	352	360	367	355	357	369	362	09

In the computer-aided tap tests, average contact times of 362 μs for MDF laminate, 408 μs for pine wood, and 653 μs for poplar wood were obtained between the striking tip and the surfaces of the wooden materials (Table 1).

Hardness Values Obtained from Tap Tests on Wooden Materials

In this section of the study, the Brinell hardness values (HB) obtained from the literature and the hardness values (HCATT) obtained from the computer-aided tap tester (CATT) for the wooden materials used in this research were analyzed. Table 2 presents the HB hardness values obtained from the literature and the HCATT hardness values determined using the CATT system for some wooden materials (poplar, pine, and MDF laminate). The constant value (c) of the empirical equation that enables a simple conversion of the calculated HCATT hardness values to HB values for these wooden materials is also provided in Table 2. A graphical representation of the hardness values from the two different methods is shown in Figure 3, and the regression equation and coefficient depicting the relationship between these two hardness values are presented in Figure 4.

Table 2. *Brinell hardness values (HB) and hardness values (HCATT) were measured with a computer-aided tap tester for some wooden materials and the conversion coefficient values between these values.*

MATERIALS	HB (MPa)	HCATT ($MN.m^{-1}$)	c (m^{-1})
Poplar	16.71 [18]	0.34	49
Pine	01.60 [19]	0.87	2
MDF Laminate	33.47 [20]	1.10	30

The data in Table 2 and Figure 3 show that for some wooden materials used in this research, the Brinell hardness values obtained from the literature range from 1.60 MPa to 33.47 MPa [18, 20, 21], whereas the hardness values obtained with the CATT system range from *30.34* MNm^{-1} to *1.10* MNm^{-1}. In the research conducted by Zanuttini, et al. [22], it was determined that the Brinell hardness value of various poplar ply woods varied between 8.3 $N.mm^{-2}$ and 10.8 $N.mm^{-2}$. In another study conducted by Sydor, Pinkowski, and Jasińska [23], two different hardness values were revealed for pine using the Brinell method: HB_d, which represents plastic deformation, and HB_H, which represents both elastic and plastic deformation. Sydor, Pinkowski, and Jasińska [23] obtained the HB_d and HB_H values of pine as 1.81 $N.mm^{-2}$ and 1.43 $N.mm^{-2}$, respectively.

According to the data in Table 2, the constant values (c) of the empirical equation that enables a simple conversion of HCATT values to HB values are as follows:

For poplar sample: c = 49 m^{-1}

For pine sample: c = 2 m^{-1}

For MDF laminate sample: c = 30 m^{-1}

According to the data in Figure 4, there is a second-degree polynomial relationship between the Brinell hardness values (HB) obtained from the literature for the wooden materials used in the research and the HCATT hardness values calculated from the contact times obtained with the CATT system. The coefficient of determination (R^2) for this relationship is also 1.00, indicating a perfect fit. When the literature is reviewed, it is observed that empirical equations based on hardness measurements have been developed to predict the flow resistance [24], tensile strength [25], and density [26] of various materials. However, in all these studies, the

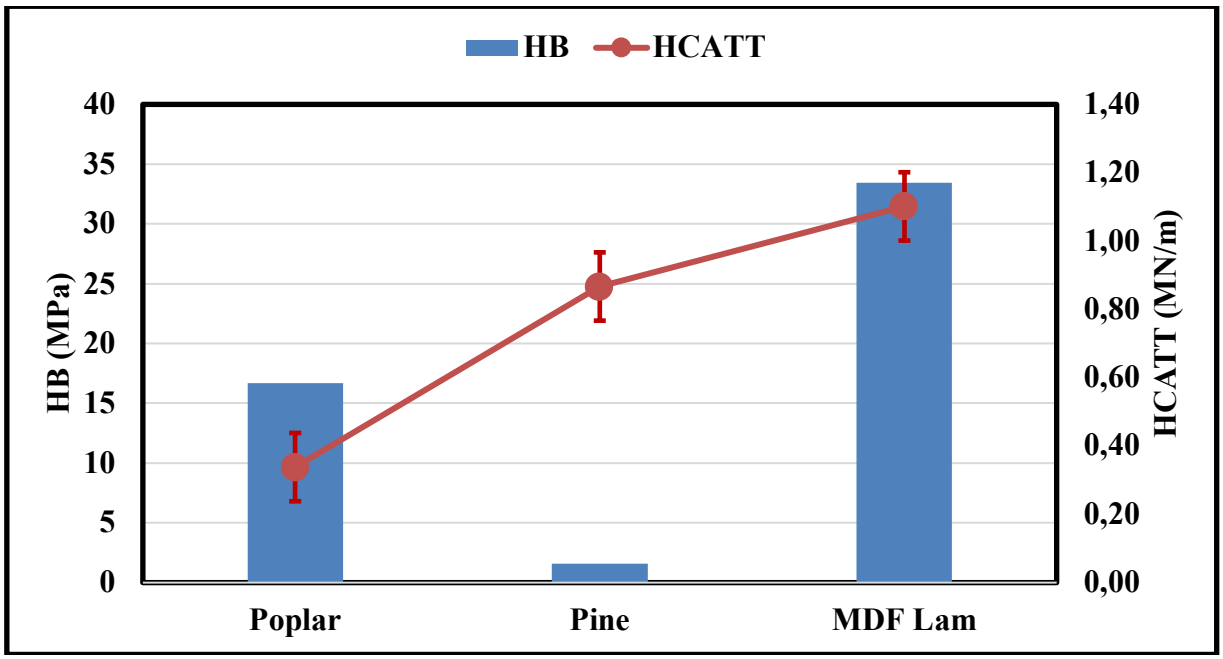


Figure 3. *Brinell hardness values (HB) and computer-aided tap test hardness values (HCATT) for some wooden materials.*

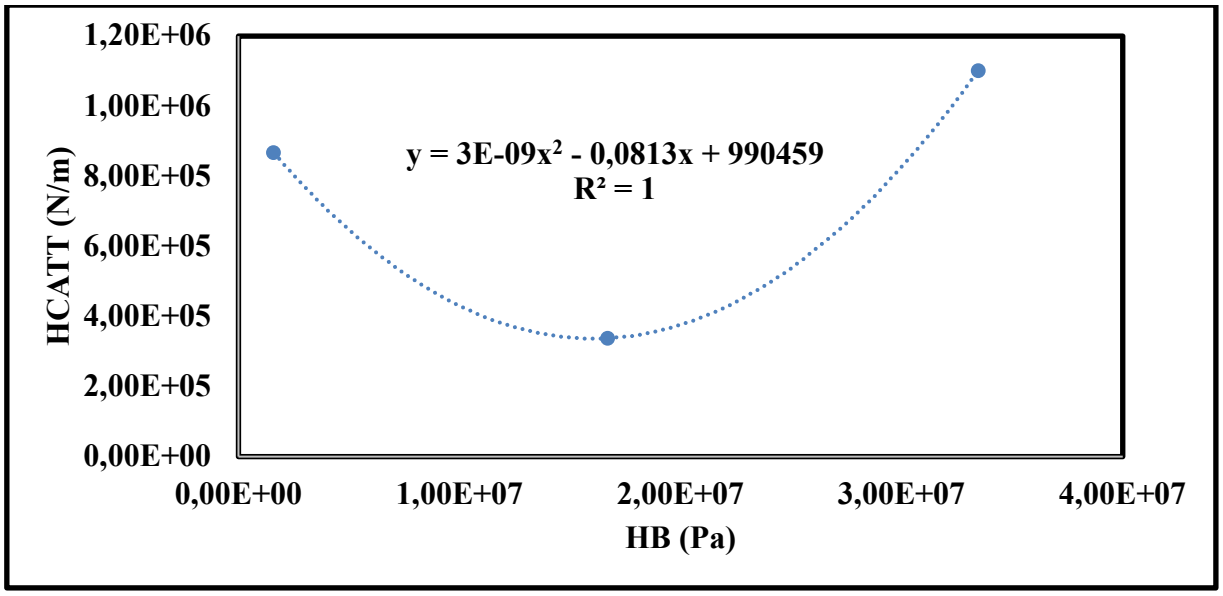


Figure 4. *Relationship between Brinell hardness values (HB) and computer-aided tap test hardness values (HCATT) for some wooden materials.*

hardness values of the materials were determined using destructive methods. Hardness, which is positively and negatively correlated with density and moisture content, is an important physical property of wooden materials [23]. Therefore, the relationship obtained between the Brinell hardness values of the wooden materials used in this research and the HCATT values obtained non-destructively with the CATT method in a short time and economically can be used as an alternative hardness measurement method for such materials. Hence, this finding suggests that the determined HCATT values can be used in these empirical formulas to determine the Brinell hardness values of wooden materials.

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

The study results indicate that the microhardness values of the materials are inversely proportional to the contact durations. This implies that a decrease in the contact duration between the accelerometer and the material

surface during the impact process signifies a higher hardness value for the investigated material. According to the contact durations for each material group, the shortest contact time was recorded for the MDF laminate, whereas the longest contact time was measured for the poplar board. Consequently, MDF laminate materials exhibit the highest hardness value, whereas poplar materials possess the lowest hardness value.

Numerous researchers have highlighted the significant relationship between hardness/microhardness and other material properties, using them for measurement purposes [3, 10, 24, 27-29]. For instance, Cheng and Cheng [28] established a direct correlation between Young's modulus and tensile mechanical hardness, which are crucial considerations for various mechanical design applications. Briscoe and Sinha [27] demonstrated the association between the microhardness of polymers and various microstructural parameters, making microhardness measurement a viable means to monitor changes in the physical and mechanical properties of polymers. Additionally, Lorenzo, Pereña, and Fatou [29] proposed an exponential relationship between the flexibility modulus and the microhardness of polymers.

The data from Table 2 reveal that the lowest HB value is 1.60 MPa for the pine board sample, whereas the highest HB value is 33.47 MPa for the MDF laminate sample. Within the scope of this study, the lowest HCATT hardness value, obtained through CATT from the material surfaces, is 0.34 MNm^{-1} for poplar, and the highest HCATT value is 1.10 MNm^{-1} for the MDF laminate sample. The conversion equation between HCATT and HB values for some wood materials used in the study yields the smallest constant c as 2 m^{-1} for pine and the largest c value as 49 m^{-1} for poplar. Furthermore, the R^2 value above 0.70 in Figure 4 suggests a strong second-degree polynomial relationship between the HCATT and HB values. This highlights the significance of the non-destructive CATT system as a replacement for destructive hardness measurement methods for the wooden materials used in this study. When reviewing the relevant literature, it is evident that various studies have investigated the relationship between the hardness values of different materials and other material properties, derived empirical formulas, and calculated their constants.

For example, Cahoon, Broughton, and Kutzak [24] developed an empirical equation using simple hardness measurements to predict the yield strength of copper, aluminum, and steel. Similarly, Krishna, Gangwar, Jha, and Pant [13] established a linear relationship between yield strength and Vickers hardness (HV) for copper alloys, with an obtained constant of 2.874. Krishna, Gangwar, Jha, and Pant [13]also identified a linear relationship between yield strength and Vickers hardness (HV) in copper alloys, yielding an R^2 value of 0.916 for this relationship. Kaymakci and Ayrilmis [25] investigated the correlation between Brinell hardness and tensile strength for wood-plastic composites as a function of wood filler content using linear regression and found a strong correlation between Brinell hardness and the tensile strength of wood composites when the filler content ranged from 30% to 40% by weight. They suggested that Brinell hardness could be an effective indicator of the tensile strength of wood-plastic composites. Klisz, Ukalska, Noskowiak, Wojda, Jastrzębowski, Mionskowski, and Szyp-Borowska [26] conducted a study in Western Poland on the relationship between wood density and hardness in flat-sawn black acacia trees, determining hardness values of 0.66 radially and 0.61 tangentially for three different wood zones.

Altindag and Guney [30] aimed to reveal the relationships between brittleness and compressive strength and between tensile strength and Shore hardness of rocks. Similarly, Akbay, Ekincioglu, Altindag and Sengun [3] determined four different brittleness values for carbonate rocks using hardness values measured with a digital Shore hardness device. In the study conducted by Akbay et al. (2021), the relationship between Shore hardness values and four different brittleness values of rocks was examined using simple regression. Because of this, it was revealed that two of the four different brittleness values of the rocks can be safely estimated from the hardness values measured with Shore D (HSD), Vickers (HV), and Rockwell (HR) hardness methods. As can be seen from these studies, destructive methods have consistently been used for hardness measurements of different materials, and despite being in the 21st century, many recent studies still rely on destructive hardness measurement methods [31-37]. These destructive methods are time-consuming, damaging to the material, and require expensive equipment. Therefore, the practical, fast, and economical method of computer-aided tap testing used in this study highlights the importance of this method in determining hardness for the first time.

Thus, similar to the HCATT_HB relationship obtained for some wood materials in this study, HCATT values determined for different materials can be experimentally determined along with the relationships between these HCATT values and other material properties such as Shore D (HSD), Vickers (HV), and Rockwell (HR) hardness values and other physical properties of materials. Even the experimental equations obtained about hardness can be used to obtain information quickly and economically about other material properties by using other empirical equations previously revealed by other researchers for other physical properties of materials. However, since hardness represents resistance to plastic deformation, the relationships with the experimentally determined hardness test are not universal relationships or formulas, but relationships specific to the experiments and the materials tested.

When the relevant literature is examined, the relationships between hardness and yield strength for copper, aluminum, and steel[13, 24], hardness tensile strength of wood-filled plastic composites depending on wood filler [25], hardness wood density in black acacia trees[26], hardness fracture toughness value of carbonate rocks [3], and the static hardness of honeycomb sandwich materials HCATT [14] have been investigated. However, no study has been found in the literature that determines the microhardness value in wooden materials using the CATT system. The absence of such a study in the literature demonstrates the originality of this research. In addition, the use of the CATT method for the first time in this research to determine the local hardness of various wood materials and thus the introduction of a non-destructive new method that can be used for hardness measurement of materials is highly significant. The findings obtained from this research can be summarized as follows:

1) The microhardness (HCATT) values of the materials change inversely with the contact duration. Therefore, it can be stated that long contact durations with the striker tip correspond to low HCATT values, whereas short contact durations correspond to high HCATT values.
2) According to the obtained contact durations for each material group, the shortest contact time (362 µs) was obtained for the MDF laminate, and the longest contact time was measured for the poplar board (653 µs).
3) Based on the obtained HCATT values, the mechanical strengths of the materials used in the research are in the order of poplar board < pine board < MDF laminate.
4) The coefficient value of the empirical equation (c-value), which simply enables the conversion of HCATT values to HB values, was determined as 49 m^{-1}, 2 m^{-1}, and 30 m^{-1} for poplar, pine, and MDF laminate, respectively.

The CATT system provides a practical, fast, and economical method for determining the microhardness values of the materials.

RECOMMENDATIONS

The CATT system used in this research to obtain microhardness values is expected to make a significant contribution to the relevant literature. Especially given the high correlation obtained between HCATT_HB for some wood materials in this study, for the global validity of the hardness measurement system through CATT, similar measurements should be repeated for other wood, metal, and polymer materials outside the scope of this study. Therefore, further research is recommended to measure microhardness in different materials using the CATT system. Similar to this research, many properties of different materials may be predicted from the measured HCATT values. Indeed, relationships between hardness and other physical properties revealed in this way can also be used in a short time and in a more economical way by using other empirical equations previously revealed by other researchers for other physical properties of materials. However, since hardness represents resistance to plastic deformation, the relationships with the experimentally determined hardness test are not universal relationships or formulas, but relationships specific to the experiments and the materials tested.

Acknowledgements

This study was supported by the Scientific Research Projects Coordination Office of Necmettin Erbakan University under research project number 211210002.

REFERENCES

[1] M. Büyükgöze-Dindar, M. Tekbaş-Atay, The effect of brushing force on the surface properties and color stability of dental enamel, *Necmettin Erbakan University Dental Journal*. 5(3) (2023), 167-172.

[2] A. Kutluk, D. Öngül, Monolitik CAD CAM seramik materyallerinin yapay yaşlandırma sonrası aşınma ve kırılma dayanımlarının araştırılması, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Diş Hekimliği Dergisi*. 5(1) (2023), 1-9.

[3] D. Akbay, G. Ekincioglu, R. Altindag, N. Sengun, Investigation of the usability of Shore hardness values determined by different devices and methods to estimate the brittleness values of carbonated rocks, *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*. 27(3) (2021) 441-448.

[4] E. Şahin, SiAlON seramiklerinin statik ve dinamik sertliklerinin analizleri, *Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı,* Hatay, 2011.

[5] T. Savaskan, Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, *Derya Kitabevi*, Trabzon, 1999.

[6] A.A. El-Moneim, S.A. Mazen, N.I. Abu-Elsaad, Evaluating the theoretical elastic properties of Li-Mn ferrites: A new approach, *Materials Chemistry and Physics*. 291 (2022) 126679.

[7] I. Markja, K. Dhoska, D. Elezi, R. Moezzi, M. Petru, Effect of the Grain Sizes on the Ultrasonic Propagation and Attenuation on Different Types of Steels Microstructure During Non-Destructive Testing, *Annales de Chimie - Science des Matériaux.* 45 (2021) 329-334.

[8] I. Oral, U. Soydal, M. Bentahar, Ultrasonic characterization of andesite waste-reinforced composites, *Polymer Bulletin*. 74(5) (2017) 1899-1914.

[9] M. Bektes, Fe-Mn Alaşımlarının Mikrosertlik Ölçümleri, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı,* Isparta, 2004.

[10] T. Dağ, N. Yıldırım, Y. Kepir, M. Uyaner, Numerical simulation of low velocity impact behavior applied on e/glass epoxy laminates, *Aerospace Research Letters (ASREL)*. 1(1) (2022) 1-10.

[11] M. Uyaner, A. Yar, Nano elyaf takviyeli nanokompozit üretimi ve karakterizasyonu, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 1(1) (2019) 10-19.

[12] B.J. Briscoe, K.S. Sebastian, S.K. Sinha, Application of the compliance method to microhardness measurements of organic polymers, *Philosophical Magazine A*. 74(5) (1996) 1159-1169.

[13] S.C. Krishna, N.K. Gangwar, A.K. Jha, B. Pant, On the prediction of strength from hardness for copper alloys, *Journal of Materials*. 2013 (2013) 1-6.

[14] D.K. Hsu, D.J. Barnard, J.J. Peters, V. Dayal, Physical basis of tap test as a quantitative imaging tool for composite structures on aircraft, *AIP Conference Proceedings. American Institute of Physic*. 509 (2000) 1857-1864.

[15] A. Klüppel, Instrumented macrohardness testing of wood, *International Wood Products Journal*. 7(1) (2016) 46-53.

[16] M. Riggio, M. Piazza, Hardness Test, in: B. Kasal, T. Tannert (Eds.), *In Situ Assessment of Structural Timber: State of the Art Report of the RILEM Technical Committee 215-AST, Springer Netherlands*, Dordrecht, 2011, pp. 87-97.

[17] E. Schwab, Die Härte von Laubhölzern für die Parkettherstellung, *Holz als Roh- und Werkstoff*. 48(2) (1990) 47-51.

[18] H. Pelit, R. Yorulmaz, Influence of densification on mechanical properties of thermally pretreated spruce and poplar wood, *BioResources*. 14(4) (2019) 9739-9754.

[19] Web20, Hardness-brinell-scale. <https://www.floor-experts.com/hardness-brinell-scale/>, 2022 (accessed 10/09/2022.2022).

[20] N. Döngel, Ahşap ve ahşap esaslı döşeme kaplama malzemelerinin (parke) teknik özellikleri, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Ana Bilim Dalı*, Ankara, 2005.

[21] Web2, Quality-12175278-acp-5080-aluminium-sheets-high-flatness-surface-cast-aluminium-plate. <http://turkish.aerospacealuminium.com/quality-12175278-acp-5080-aluminium-sheets-high-flatness-

surface-cast-aluminium-plate.html>, 2022 (accessed 5 August.2022).

[22] R. Zanuttini, F. Negro, C. Cremonini, Hardness and contact angle of thermo-treated poplar plywood for bio-building, *iForest-Biogeosciences and Forestry*. 14(3) (2021), 274.

[23] M. Sydor, G. Pinkowski, A. Jasińska, The Brinell method for determining hardness of wood flooring materials, *Forests*. 11(8) (2020), 878.

[24] J.R. Cahoon, W.H. Broughton, A.R. Kutzak, The determination of yield strength from hardness measurements, *Metallurgical Transactions*. 2(7) (1971),1979-1983.

[25] A. Kaymakci, N. Ayrilmis, Investigation of correlation between Brinell hardness and tensile strength of wood plastic composites, *Composites Part B: Engineering*. 58 (2014), 582-585.

[26] M. Klisz, J. Ukalska, A. Noskowiak, T. Wojda, S. Jastrzębowski, M. Mionskowski, I. Szyp-Borowska, Correlations between Brinell hardness and basic density in black locust - differences along the stem, *Forestry and Wood Technology*. 91 (2015), 81-86.

[27] B.J. Briscoe, S.K. Sinha, Hardness and Normal Indentation of Polymers, in: G.M. Swallowe (Ed.), *Mechanical Properties and Testing of Polymers, Springer Netherlands*, Dordrecht, 1999, pp. 113-122.

[28] Y.-T. Cheng, C.-M. Cheng, Relationships between hardness, elastic modulus, and the work of indentation, *Applied Physics Letters*. 73 (1998), 614-616.

[29] V. Lorenzo, J.M. Pereña, J.G. Fatou, Vickers microhardness related to mechanical properties of polypropylene, *Journal of Materials Science Letters*. 8(12) (1989), 1455-1457.

[30] R. Altindag, A. Guney, Predicting the relationships between brittleness and mechanical properties (UCS, TS and SH) of rocks, *Scientific Research and Essays*. 5 (2010), 2107-2118.

[31] S. Kantur, G. İrsel, B.N. Güzey, Investigation of combining the 304L and S355J2C+N materials with TIG welding in terms of microstructure and mechanical properties, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*. 206 (2023), 104999.

[32] N. Li, T. Wang, L. Zhang, L. Zhang, Microstructure evolution and mechanical properties strengthening in laser powder bed fusion of high-strength SiC and TiB2 co-reinforced Al-Zn-Mg-Cu composites, *Journal of Alloys and Compounds*. 965 (2023), 171463.

[33] S. Swirad, A. Gradzik, K. Ochał, P. Pawlus, Effects of the surface layer of steel samples after ball burnishing on friction and wear in dry reciprocating sliding, *Scientific Reports*. 13(1) (2023), 11315.

[34] I. Volokitina, B. Sapargaliyeva, A. Agabekova, S. Syrlybekkyzy, A. Volokitin, L. Nurshakhanova, F. Nurbaeva, A. Kolesnikov, G. Sabyrbayeva, A. Izbassar, O. Kolesnikova, Y. Liseitsev, S. Vavrenyuk, Increasing strength and performance properties of bimetallic rods during severe plastic deformation, *Case Studies in Construction Materials*. 19 (2023), e02256.

[35] M. Wu, J. Zhang, C. Ma, Y. Zhang, Y. Cheng, Experimental Research on the Surface Quality of Milling Contour Bevel Gears, *Chinese Journal of Mechanical Engineering*. 36(1) (2023).

[36] A. Namalan, Investigation of the effect of nano graphene additive to aluminum matrix ceramic particle reinforced composite-hybrid materials on microstructure-hardness and abrasion behavior, *Necmettin Erbakan University the Graduate School of Natural and Applied Science*, Konya, Türkiye, 2022.

[37] Y. Yıldız, The effect of heat treatment parameters on the mechanical properties of steel in the production of 5140 alloy bolts, *Necmettin Erbakan University the Graduate School of Natural and Applied Science*, Konya, Türkiye, 2022.

Necmettin Erbakan Üniversitesi
Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi
Journal of Science and Engineering (NEJSE)
DOI: 10.47112/neufmbd.2023.24

Cilt: 5 Sayı:2 Yıl: 2023 | Araştırma Makelesi / Research Article | E-ISSN: 2667- 7989

Bakır (II) İyonu ve Histidin İçeren Polimerlerin *Saccharomyces cerevisiae* Mayası Üzerindeki Antifungal Etkileri

Kemal ÇETİN [1,2] Koray ŞARKAYA [3] Berna KAVAKCIOĞLU YARDIMCI [4]

[1] Necmettin Erbakan University, Faculty of Engineering, Department of Biomedical Engineering, Konya, Türkiye, kcetin@erbakan.edu.tr *(Corresponding Author)*
[2] Necmettin Erbakan University, Science and Technology Research and Application Center (BITAM), Konya, Türkiye
[3] Pamukkale University, Faculty of Science, Department of Chemistry, Denizli, Türkiye, ksarkaya@pau.edu.tr
[4] Pamukkale University, Faculty of Science, Department of Chemistry, Denizli, Türkiye, byardimci@pau.edu.tr

Makale Bilgileri

Makale Geçmişi
Geliş: 04.08.2023
Kabul: 06.10.2023
Yayın: 31.12.2023

Anahtar Kelimeler:
Antifungal aktivite,
Cu(II) iyonları,
HEMA,
Histidin,
Polimerler.

ÖZ

Biyomedikal implant oklüzyonundaki ve derin yara iyileşmesindeki en ciddi endişelerden biri bakteri ve mantarların neden olduğu mikrobiyal enfeksiyonlardır. Bu nedenle, yarada, yaranın etrafında ve implantın yerleştirileceği bölgedeki enfeksiyonları önlemek veya tedavi etmek için antimikrobiyal ve antifungal özelliklere sahip malzemeler tasarlamak çok önemlidir. Kriyojel olarak adlandırılan kriyo-hidrojeller, yara iyileştirme malzemeleri için önemli bir seçenektir. Bu çalışmada, metal iyonu ve amino asit katıldığında malzemelerin antifungal etkilerindeki değişiklikleri incelemek amacıyla kriyopolimerizasyon işlemi kullanılarak çeşitli polimerler sentezlenmiştir. 2-Hidroksietil metakrilat'ın ana monomer olarak kullanılmasıyla sentezlenen polimerleri karakterize etmek için şişme testleri, Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi, taramalı elektron mikroskobu ve X-ışını kırınımı incelemeleri yapılmıştır. Kriyojellerin antifungal aktiviteleri, fırıncı mayası veya bira mayası olarak da adlandırılan ökaryotik maya hücre modeli *S. cerevisiae* üzerinde incelenmiştir. 2-Hidroksietil metakrilat temelli polimerler gözenekli morfoloji sergilemektedir. Sonuçlar, bakır iyonlarının 2-Hidroksietil metakrilat temelli polimerlerin antifungal aktivitesinde önemli bir rol oynadığını, ek olarak histidin bağlanmasının ise hücresel metabolik aktivite yüzdelerinde artışa sebep olduğunu göstermiştir.

Antifungal Activities of Copper (II) Ion and Histidine Incorporated Polymers on Yeast *Saccharomyces cerevisiae*

Article Info

Article History
Received: 04.08.2023
Accepted: 06.10.2023
Published: 31.12.2023

Keywords:
Antifungal activity,
Cu(II) ions,
HEMA,
Histidine,
Polymers.

ABSTRACT

One of the most serious concerns in biomedical implant occlusion and deep wound healing is microbial infections caused by bacteria and fungi. Therefore, it is crucial to design materials with antimicrobial and antifungal properties to prevent or cure infections in the wound, its surroundings, and the site where the implant will be placed. Cryo-hydrogels, called cryogels, are a valuable option for wound healing materials. In this study, various polymers were synthesized using the cryopolymerization process in order to examine the changes in the antifungal effects of the materials when metal ion and amino acid are incorporated. Swelling tests, Fourier transform infrared spectroscopy, scanning electron microscopy, and X-ray diffraction investigations were performed to characterize the polymers synthesized using 2-hydroxyethyl methacrylate (HEMA) as main monomer. The antifungal actions of the cryogels were examined on the eukaryotic yeast cell model *S. cerevisiae*, also referred to as baker's yeast or brewer's yeast. HEMA-based polymers exhibit porous morphology. Results showed that copper ions play an essential role in the antifungal activity of the HEMA-based polymers while attachment of additional histidine causes the recovery of cell metabolic activity.

Atıf/Citation: Çetin, K.; Şarkaya, K. & Kavakcıoğlu Yardımcı, B. (2023). Antifungal activities of copper (II) ion and histidine incorporated polymers on yeast Saccharomyces cerevisiae, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*, *5*(2), 267-277. https://doi.org/10.47112/neufmbd.2023.24

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

INTRODUCTION

Hydrogels are water-insoluble gels having porous polymer networks with high liquid absorption due to physical and/or chemical cross-links [1]. In addition to having exceptional swelling characteristics, hydrogels are also biocompatible, biodegradable, and environmentally friendly materials [2], [3]. They can frequently be assessed in the category of materials for biomedical uses since they also exhibit tunable physical and chemical characteristics that mimic the extracellular matrix (ECM) in tissues [4], [5]. Although hydrogels have a wide range of uses due to their properties, they also have drawbacks. For example, hydrogels are very soft and brittle when swollen with water, so their mechanical strength is not stable [6]. On the other hand, the pore size of hydrogels, mainly when used as a tissue scaffold, causes problems in intercellular nutrient transport and waste removal, and cell adhesion, which becomes complicated and causes an irregular distribution of cells in the gel [7]. In recent years, cryogels, which belong to the class of hydrogels, have begun to be produced via gelation at temperatures below the freezing point of water, which is called cryogelation [8]. The melting of these ice crystals under room temperature conditions creates interconnected macroporous networks [9]. Especially against the limiting properties of small-pore hydrogels, macroporous cryogels present some privileges such as effective mass transport of macromolecules, much mechanical stability, and high micro-environmental biocompatibility thanks to the cryogelation method [10]. Thus, there is an increasing interest in using cryogels since having advantages over traditional type hydrogels [11]. Cryogels are mainly applied in biotechnological fields due to their fast mass flow properties supported by the elastic morphological structures combined with mechanical and chemical stability [12]. For biotechnological approaches, cryogels can be considered, such as drug delivery systems [13], 3D scaffolds for cell cultivation [14], tissue engineering [15], also bioseparation as chromatographic materials for the separation and purification of biological macromolecules [16]. Recently, sensor- and impedance-based studies of cryogels have been popular for bioelectronic applications [17]–[19].

Some of fungi can act as pathogens and disruptive effect the immune system. Therefore, it is thought that materials with antifungal properties can provide an essential deterrent against fungal infections [20]. Recently, wound dressing materials exhibiting antifungal and antibacterial effects have become widespread [21]–[23]. They should have some significant properties such as easy and low-cost production, reproducibility, non-toxic, antimicrobial/ antifungal and so on [24]. Various synthetic or natural polymer-based wound dressing materials have been produced in the literature, the main ones are films [25], topical agents [26], transdermal patches [27], and polymers including nanomaterials [28] and hydrogels [29]. On the other hand, though some of these materials prevent bacterial infections of skin wounds, they may face various limitations due to the high production cost, poor mechanical stability, inability to remove the lesion without damaging it, or not creating a moist environment [30]. So, among these materials, cryogels could be one of the best options since their macroporous structure, and favorable swelling ratios provide a moist environment that is beneficial for wound healing while also allowing oxygen permeability and exudate drainage [31]. Also, compared to conventional dressing materials such as cotton, wool, or gauze, they facilitate their spontaneous exfoliation and degradation, avoiding the discomfort and secondary trauma caused by changing dressings [32], [33].

2-Hydroxyethyl methacrylate (HEMA) is commonly used to synthesize cryogels as the main monomer since its good biocompatibility via its hydrophilic character and tunable mechanical properties [34], [35]. Hence, poly(HEMA) (PHEMA) based hydrogels and cryogels are getting more popular from they were used to produce contact lenses [36] to today's applications related to biomedical and biochemistry fields, including drug delivery devices [13], wound dressing materials [37], electroconductive materials [38], and scaffolds [39]. In this paper, HEMA-based cryogels including PHEMA (H1), PHEMA-NVP (H2), PHEMA-NVP-Cu(II) (H3), PHEMA-NVP-Cu(II)-His (H4), and PHEMA-NVP-His (H5) cryogels were synthesized via cryopolymerization. They were characterized by swelling and porosity tests, Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), scanning electron microscopy (SEM) and X-ray diffraction (XRD) studies. Finally, their antifungal activities were investigated against four different strains of *Saccharomyces cerevisiae* yeast. According to the best of our knowledge, this is

the first study which these Cu(II) and/or His containing cryogels were synthesized and investigated for their possible antifungal activities on the opportunistic yeast *S. cerevisiae*.

MATERIALS AND METHODS

All reagents used for the preparation of cryogels namely HEMA, N-vinyl pyrrolidone (NVP), N, N′-methylene bis(acrylamide) (MBA), ammonium persulfate (APS), L-histidine, N, N, N', N'-tetramethyl ethylene diamine (TEMED) and copper (II) nitrate hydrate were obtained from (Sigma-Aldrich, St. Louis, Missouri, USA).

The synthesis of the poly(HEMA-NVP) cryogel has been described in an earlier study [34]. Five different cryogels denoted as H1, H2, H3, H4 and H5 were produced as follows: First, MBA (240 mg) was dissolved in 12.0 mL of deionized water (DW), and then HEMA (1.3 mL) and NVP (10.7 µL) were added to the solution. $Cu(NO_3)_2{\cdot}3H_2O$ (4.8 mg) for H3, $Cu(NO_3)_2{\cdot}3H_2O$ (4.8 mg) and histidine (15.5 mg) for H4 and histidine (15.5 mg) for H5 cryogels were also added to the solutions. After adding APS and TEMED, the solutions were transferred to the syringes placed in the ice box and polymerization was carried out at -18 °C for 24 h. Then, cryogels were thawed at room temperature (RT) and subjected to DW to remove unreacted monomers and other residues from the polymeric structures.

The characteristic functional groups of HEMA-based cryogels were obtained using an attenuated total reflection-Fourier transform infrared spectroscopy (ATR-FTIR; Spectrum OneTM, Perkin Elmer, Massachusetts, USA). The surface and bulk structure of cryogels were examined with a scanning electron microscope (SEM) (Quanta FEG 250, FEI, USA). X-ray diffraction (XRD) analysis was carried out with a powder X-ray diffractometer (PANanalytical, Empyrean model, UK) to determine the crystalline structures of the cryogels. For this purpose, each of the powdered samples was performed based on scanning degree $0° \leq 2\theta° \leq 90°$ and scanning speed 1°/min.

The initial weights of the dry cryogels were measured and recorded. These cryogels were then placed in a beaker containing distilled water and swelled for 2 h. Measurements made by taking two samples were repeated three times at different times. Swelling degree and porosity of the cryogels were calculated using the formulas below:

$$Swelling\ degree\ (\%) = \frac{W_s - W_d}{W_d} \times 100 \quad (1)$$

$$Porosity\ (\%) = \frac{w_s - w_d}{w_s - w_{sq}} \times 100 \quad (2)$$

Here; W_d is the weight of dried cryogels (g) while *Ws* and *Wsq* are the weights of the cryogels after swelling (g) and squeezed (g), respectively [40].

The possible antifungal effects of the HEMA-based cryogels (H1-H5) were evaluated against four different strains of yeast cells including wild type *S. cerevisiae* BY4741 and its isogenic cytosolic catalase T (CTT1), thioredoxin-disulfide reductase (TRR2) and glutathione synthase (GSH2) deletion mutants. The genomic background of the wild type strain is MATa his3Δ1 leu2Δ0 met15Δ0 ura3Δ0. Both the wild and the mutant strains constructed by kanMX4 cassette deletion of the specified genes were obtained from Dharmacon (Lafayette, CO). We have used the deletion mutants in order to evaluate the possible protective roles of these important antioxidative enzymes against the Cu(II) and/or His containing HEMA-based cryogels. The routine maintenance of all the strains was carried out at 30 °C for 2 days on agar plates prepared with YPDA medium (pH: 5.6) containing 10 g yeast extract, 20 g peptone, 20 g glucose and 20 g bactoagar per liter. the cells were growth until their mid-exponential phase in YPD medium without bactoagar under same conditions for the cytotoxicity assay. 200 mg/L geneticin was also added to the medium of the mutant strains for the selective growth. Then, cryogels were treated with these cells at an initial concentration of 5 x 10^7 CFU/mL for 24 h. After incubation period, the mediums were removed and the remaining gels were washed twice with the phosphate-buffered saline (PBS), pH 7.4. The metabolic activity of the cells was determined by MTT assay in the washing solution. Briefly, precipitated cells from the washing solutions were mixed with 50 µL of 0.5 mg/mL MTT solution and the incubation was carried out for 2 h at 37 °C. Then, all the samples were mixed with 500 µL of propan-2-ol which contains 0.04 M HCl, and the mixtures were

vigorously vortexed in order to remove MTT-formazan from the cells. After centrifugation at 10 000 x g for 2 min., the absorbance values of the clear supernatants were measured against controls at 570 nm [41]. The results were expressed as metabolic activity percentages in comparison with untreated control which was accepted as 100%.

All the experiments were carried out in triplicate and the data are reported as the mean of percentage of cell metabolic activity ± S.E.M. A one-way analysis of variance (ANOVA) test was utilized via GraphPad Prism version 6.01 (GraphPad Software Inc.; La Jolla, CA) to statistically assess the variance differences.

RESULTS AND DISCUSSION

Figure 1 shows FT-IR spectra of both P(HEMA) and P(HEMA-NVP) cryogels. The O-H groups were responsible for a broad band in the spectra around 3300 cm^{-1}. The peaks of the ester carbonyl groups of P(HEMA) and P(HEMA-NVP) cryogels were shown at 1715.97 and 1720.72 cm^{-1}, respectively. The peaks around 1450 cm^{-1} and 1150 cm^{-1} were attributed to the C–N stretching and C–O–C bending bands, respectively [42]. The peaks of NVP were not as pronounced as there was around 100 times more HEMA in the reaction mixture than NVP. The carbonyl stretching banding of NVP, however, might have contributed to the peak's increased intensity at 1652 cm^{-1} [43], [44].

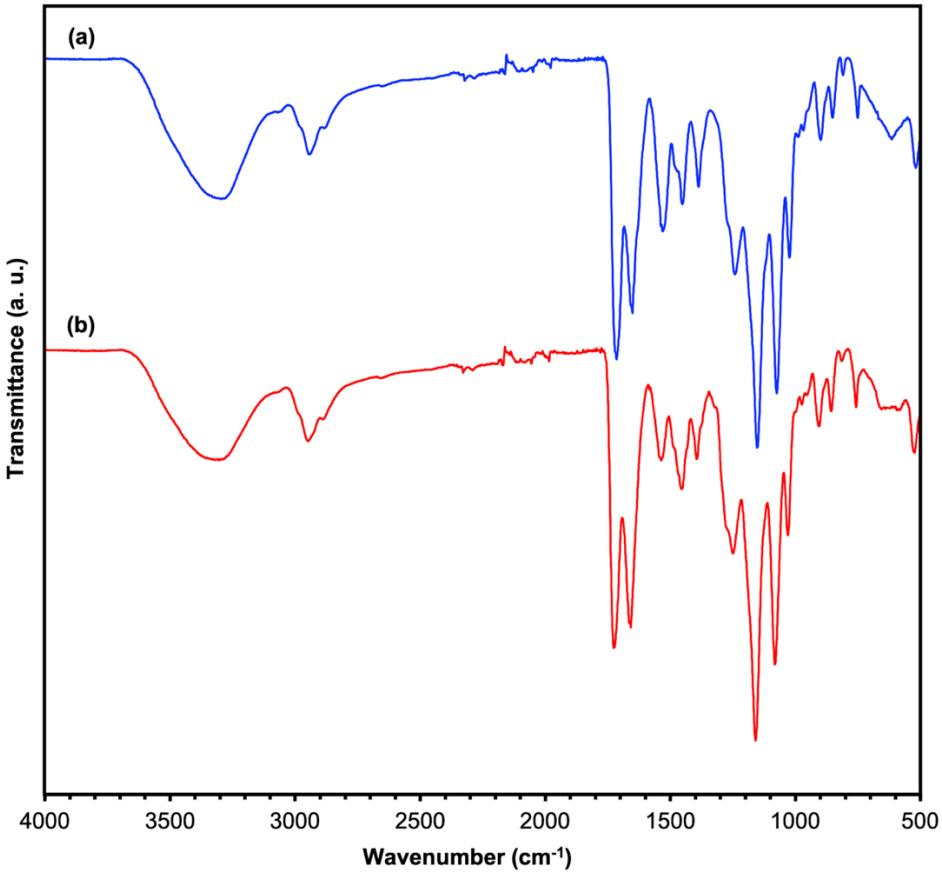


Figure 1. *FTIR spectra of (a) P(HEMA) and (b) P(HEMA-NVP) cryogels*

Figure 2 presents the optical images of the cryogels in the swollen state with DW. All of the cryogels were opaque, allowing light from various domains to be scattered to be seen [45]. Surface morphologies of the PHEMA and P(HEMA-NVP), i.e., H1 and H2, respectively, cryogels are presented in Figure 3. The cryogels exhibited interconnected macro and micro-porous structures and a network topology. According to data given in Table 1, all of the cryogels exhibited high swelling values and porosities.

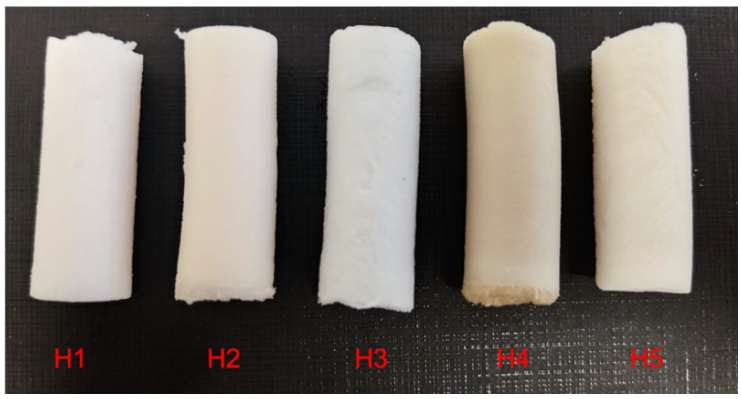


Figure 2. *Optical images of the cryogels.*

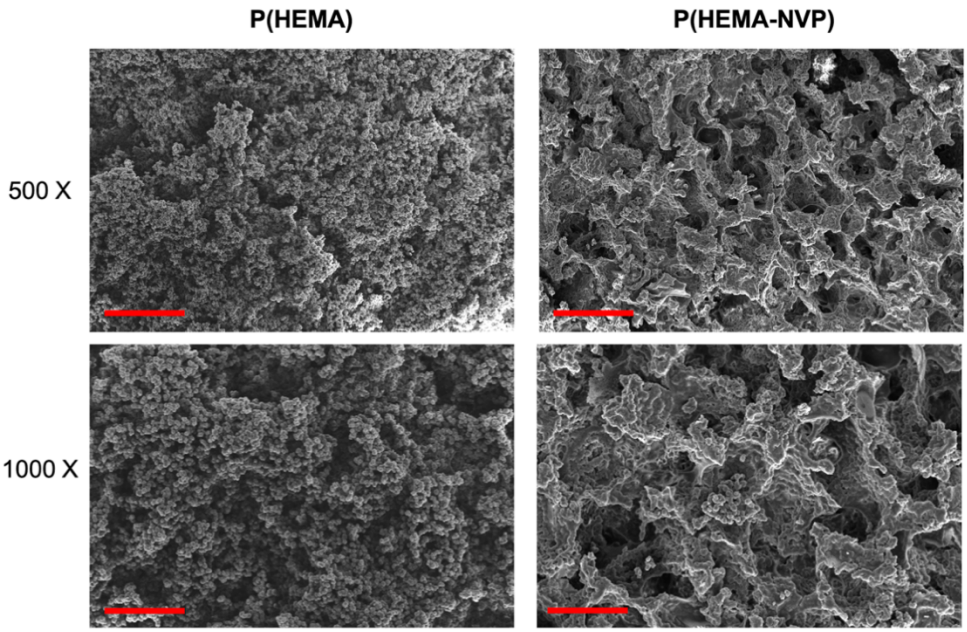


Figure 3. *SEM images of P(HEMA) and P(HEMA-NVP) cryogels. Scale bar: 100 µm for × 500; and 50 µm for × 1000.*

Table 1. *The swelling and porosity values of the cryogels*

Cryogel	Swelling (%)	Porosity (%)
H1	586 ± 51	147.34 ± 3.2
H2	590 ± 62	122.91 ± 4.6
H3	565 ± 48	118.36 ± 2.7
H4	584 ± 54	108.51 ± 3.4
H5	565 ± 36	121.92 ± 4.2

For the confirmation of copper in the cryogels, powder XRD analysis of both P(HEMA-NVP) [H2] and P(HEMA-NVP)-Cu(II) [H3] were utilized, as presented in Figure 4. While there was no specific peak in the XRD image of H2, the XRD pattern of H3 exhibited a peak at 45.71° confirming to copper incorporation into the cryogel matrix [46].

The antifungal activities of the cryogels were investigated on eukaryotic yeast *S. cerevisiae* which is also known as baker's yeast or brewer's yeast. This organism is the first eukaryotic model whose genome was fully sequenced. *S. cerevisiae* differs from other microorganisms in that it is susceptible to genetic manipulation and has similar biochemical pathways with higher eukaryotic organism [47]. In addition, this yeast is of critical importance

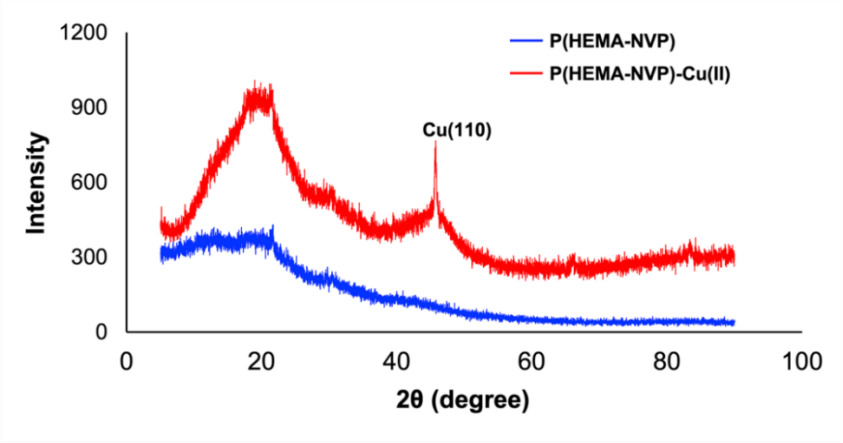


Figure 4. *XRD images of the P(HEMA-NVP) and P(HEMA-NVP)-Cu(II) cryogels.*

in the production of many food and alcoholic beverages [48]. On the other hand, it can form durable colonies in many different natural environments [49]. For instance, it causes spoilage in foodstuffs in terms of their physical and sensory properties as a result of yeast metabolic activity. In addition, studies have shown that this strain can have negative effects on human health and care should be taken when using *S. cerevisiae* probiotics especially in immunosuppressed or critically ill patients [50]–[52]. Because of all these reasons, we have investigated the possible antifungal activities of the cryogels by using *S. cerevisiae* strains. It is widely seen in the literature that this yeast is used to determine the antifungal activities of various materials [53]–[55].

The metabolic activity percentages after treatment with H1-H5 cryogels of four different yeast strains precipitated from washing solutions were presented in Figure 5. According to the results, there was no significant difference between H1 and H2 groups and all the strains showed same cell metabolic activity trend for the remaining groups. H3 was found as the most antifungal cryogel for both wild and mutant yeast strains. The challenge with H3 decreased metabolic activity percentages to 47.54±1.53, 47.42±1.99, 29.17±1.06 and 49.77±1.53 in wild, ΔCTT1, ΔTRR2 and ΔGSH2 strains, respectively. From these data, it is clear that ΔTRR2 mutant was the most sensitive strain to the treatment. These cells were also found more sensitive compared to other ones to the rest of applications. After treatment with H4 and H5 gels, the metabolic activity percentages were determined as 46.73±1.97 and 52.17±1.19, respectively, between which there was no significant difference unlike other strains. From the findings, it can be interpreted that copper ions are essential for the antifungal activities of these HEMA-based cryogels, and additional histidine attachment generally leads to the recovery of cell metabolic activity.

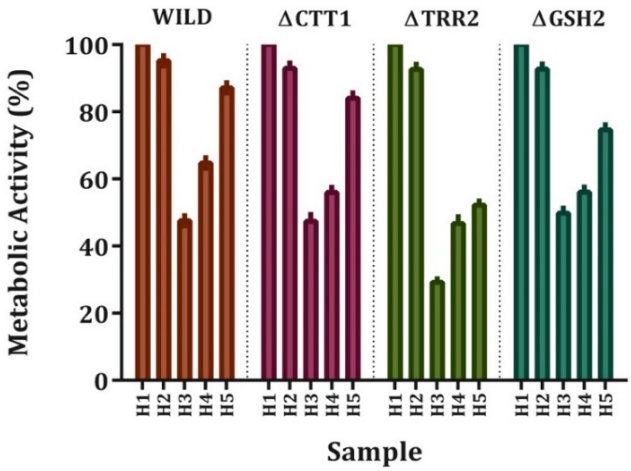


Figure 5. *The effects of cryogels treatment for 24 h on cell metabolic activities of Saccharomyces cerevisiae strains. Cell metabolic activity percentages calculated in comparison to the relevant control group were used to display the results. The mean and ± SEM of three separate trials is displayed in data with error bars.*

CONCLUSIONS

In biomedical engineering, it is important to design materials with antimicrobial and antifungal activities to stop or cure infections around wound area and implant site. In this work, the cryopolymerization method was used to create compressible, spongy HEMA-based polymers. The monomer NVP was selected to form a metal-chelate complex with Cu(II) ions and histidine. The antifungal activities of polymers were investigated on the eukaryotic yeast cell model *S. cerevisiae* and the results indicate that copper ions are necessary for the antifungal action of the HEMA-based polymers, and further histidine attachment often results in the restoration of cell metabolic function.

REFERENCES

[1] S.H. Zainal, N.H. Mohd, N. Suhaili, F.H. Anuar, A.M. Lazim, R. Othaman, Preparation of cellulose-based hydrogel: a review, *Journal of Materials Research and Technology*. 10 (2021), 935–952. doi:10.1016/J.JMRT.2020.12.012.

[2] J. Li, D.J. Mooney, Designing hydrogels for controlled drug delivery, *Nature Reviews Materials*. 1 (2016), 1–17. doi:10.1038/natrevmats.2016.71.

[3] D. Wu, J. Xu, Y. Chen, M. Yi, Q. Wang, Gum Arabic: A promising candidate for the construction of physical hydrogels exhibiting highly stretchable, self-healing and tensility reinforcing performances, *Carbohydrate Polymers*. 181 (2018), 167–174. doi:10.1016/J.CARBPOL.2017.10.076.

[4] H. Yuk, B. Lu, X. Zhao, Hydrogel bioelectronics, *Chemical Society Reviews*. 48 (2019), 1642–1667. doi:10.1039/C8CS00595H.

[5] Z. Gu, K. Huang, Y. Luo, L. Zhang, T. Kuang, Z. Chen, G. Liao, Double network hydrogel for tissue engineering, *Wiley Interdisciplinary Reviews: Nanomedicine and Nanobiotechnology*. 10 (2018), e1520. doi:10.1002/WNAN.1520.

[6] B. Yetiskin, O. Okay, High-strength and self-recoverable silk fibroin cryogels with anisotropic swelling and mechanical properties, *International Journal of Biological Macromolecules*. 122 (2019), 1279–1289. doi:10.1016/J.IJBIOMAC.2018.09.087.

[7] S.A. Bencherif, R.W. Sands, D. Bhatta, P. Arany, C.S. Verbeke, D.A. Edwards, D.J. Mooney, Injectable preformed scaffolds with shape-memory properties., *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 109 (2012), 19590–5. doi:10.1073/pnas.1211516109.

[8] V. Baudron, P. Gurikov, I. Smirnova, S. Whitehouse, Porous starch materials via supercritical- and freeze-drying, *Gels*. 5 (2019), 12. doi:10.3390/gels5010012.

[9] V.I. Lozinsky, I.Y. Galaev, F.M. Plieva, I.N. Savina, H. Jungvid, B. Mattiasson, Polymeric cryogels as promising materials of biotechnological interest, *Trends in Biotechnology*. 21 (2003), 445–451. doi:10.1016/j.tibtech.2003.08.002.

[10] V.M. Gun'ko, I.N. Savina, S. V. Mikhalovsky, Cryogels: Morphological, structural and adsorption characterisation, *Advances in Colloid and Interface Science*. 187–188 (2013), 1–46. doi:10.1016/J.CIS.2012.11.001.

[11] M. Razavi, Y. Qiao, A.S. Thakor, Three-dimensional cryogels for biomedical applications, *Journal of Biomedical Materials Research - Part A*. 107 (2019), 2736–2755. doi:10.1002/jbm.a.36777.

[12] S. Reichelt, Introduction to Macroporous Cryogels, in: *Methods in Molecular Biology*, *Humana Press, New York,* 2015: pp. 173–181. doi:10.1007/978-1-4939-2447-9_14.

[13] K. Çetin, A. Denizli, Polyethylenimine-functionalized microcryogels for controlled release of diclofenac sodium, *Reactive and Functional Polymers*. 170 (2022), 105125. doi:10.1016/J.REACTFUNCTPOLYM.2021.105125.

[14] R. Kumar Saini, L. Prasad Bagri, A.K. Bajpai, Nano-silver hydroxyapatite based antibacterial 3D scaffolds of gelatin/alginate/poly (vinyl alcohol) for bone tissue engineering applications, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 177 (2019), 211–218. doi:10.1016/J.COLSURFB.2019.01.064.

[15] M. Rezaeeyazdi, T. Colombani, A. Memic, S. Bencherif, M. Rezaeeyazdi, T. Colombani, A. Memic, S.A. Bencherif, Injectable hyaluronic acid-co-gelatin cryogels for tissue-engineering applications, *Materials*. 11 (2018), 1374. doi:10.3390/ma11081374.

[16] K. Çetin, A. Denizli, Microcryogels as plastic antibodies for transferrin purification, *Process Biochemistry*. 79 (2019), 174–184. doi:10.1016/j.procbio.2018.12.020.

[17] S. Niyomdecha, W. Limbut, A. Numnuam, P. Asawatreratanakul, P. Kanatharana, P. Thavarungkul, A novel BOD biosensor based on entrapped activated sludge in a porous chitosan-albumin cryogel incorporated with graphene and methylene blue, *Sensors and Actuators B: Chemical*. 241 (2017), 473–481. doi:10.1016/j.snb.2016.10.102.

[18] T. Kangkamano, A. Numnuam, W. Limbut, P. Kanatharana, P. Thavarungkul, Chitosan cryogel with embedded gold nanoparticles decorated multiwalled carbon nanotubes modified electrode for highly

sensitive flow based non-enzymatic glucose sensor, *Sensors and Actuators B: Chemical*. 246 (2017), 854–863. doi:10.1016/J.SNB.2017.02.105.

[19] Z.M. Sahin, D. Alimli, M.M. Tonta, M.E. Kose, F. Yilmaz, Highly sensitive and reusable mercury (II) sensor based on fluorescence quenching of pyrene moiety in polyacrylamide-based cryogel, *Sensors and Actuators B: Chemical*. 242 (2017), 362–368. doi:10.1016/J.SNB.2016.11.048.

[20] A. Zumbuehl, L. Ferreira, D. Kuhn, A. Astashkina, L. Long, Y. Yeo, T. Iaconis, M. Ghannoum, G.R. Fink, R. Langer, D.S. Kohane, Antifungal hydrogels, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 104 (2007), 12994–12998. doi:10.1073/PNAS.0705250104.

[21] X. Zhao, H. Wu, B. Guo, R. Dong, Y. Qiu, P.X. Ma, Antibacterial anti-oxidant electroactive injectable hydrogel as self-healing wound dressing with hemostasis and adhesiveness for cutaneous wound healing, *Biomaterials*. 122 (2017), 34–47. doi:10.1016/J.BIOMATERIALS.2017.01.011.

[22] F.A. Paskiabi, S. Bonakdar, M.A. Shokrgozar, M. Imani, Z. Jahanshiri, M. Shams-Ghahfarokhi, M. Razzaghi-Abyaneh, Terbinafine-loaded wound dressing for chronic superficial fungal infections, *Materials Science and Engineering: C*. 73 (2017), 130–136. doi:10.1016/J.MSEC.2016.12.078.

[23] I. De Luca, P. Pedram, A. Moeini, P. Cerruti, G. Peluso, A. Di Salle, N. Germann, Nanotechnology development for formulating essential oils in wound dressing materials to promote the wound-healing process: A review, *Applied Sciences 2021, Vol. 11, Page 1713*. 11 (2021), 1713. doi:10.3390/APP11041713.

[24] M.A. Matica, F.L. Aachmann, A. Tøndervik, H. Sletta, V. Ostafe, Chitosan as a wound dressing starting material: antimicrobial properties and mode of action, *International Journal of Molecular Sciences 2019, Vol. 20, Page 5889*. 20 (2019), 5889. doi:10.3390/IJMS20235889.

[25] S.L. Iconaru, M.V. Predoi, P. Chapon, S. Gaiaschi, K. Rokosz, S. Raaen, M. Motelica-Heino, D. Predoi, Investigation of spin coating cerium-doped hydroxyapatite thin films with antifungal properties, *Coatings 2021, Vol. 11, Page 464*. 11 (2021), 464. doi:10.3390/COATINGS11040464.

[26] Y. El Attar, M. Atef Shams Eldeen, R.M. Wahid, R. Alakad, Efficacy of topical vs combined oral and topical antifungals in white piedra of the scalp, *Journal of Cosmetic Dermatology*. 20 (2021), 1900–1905. doi:10.1111/JOCD.13769.

[27] K.S. Constantino-González, P. Serrano-Castañeda, O.R. Guadarrama-Escobar, M. López-Cervantes, C.L. Domínguez-Delgado, J.J. Escobar-Chávez, Development and characterization of amikacin loaded emulgel for the treatment of mycetoma, *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 54 (2021), 1024–1032. doi:10.1007/S11094-021-02315-1/TABLES/14.

[28] P. Gupta, P. Mishra, L. Mehra, K. Rastogi, R. Prasad, G. Mittal, K.M. Poluri, Eugenol-acacia gum-based bifunctional nanofibers as a potent antifungal transdermal substitute, *Future Medicine*. 16 (2021), 2269–2289. doi:10.2217/NNM-2021-0274.

[29] M. Lazaridou, S. Nanaki, A. Zamboulis, C. Papoulia, K. Chrissafis, P.A. Klonos, A. Kyritsis, S. Vergkizi-Nikolakaki, M. Kostoglou, D.N. Bikiaris, Super absorbent chitosan-based hydrogel sponges as carriers for caspofungin antifungal drug, *International Journal of Pharmaceutics*. 606 (2021), 120925. doi:10.1016/J.IJPHARM.2021.120925.

[30] M.M. Iftime, I. Rosca, A.I. Sandu, L. Marin, Chitosan crosslinking with a vanillin isomer toward self-healing hydrogels with antifungal activity, *International Journal of Biological Macromolecules*. 205 (2022), 574–586. doi:10.1016/J.IJBIOMAC.2022.02.077.

[31] Y. Zhu, S. Hideyoshi, H. Jiang, Y. Matsumura, J.L. Dziki, S.T. LoPresti, L. Huleihel, G.N.F. Faria, L.C. Fuhrman, R. Lodono, S.F. Badylak, W.R. Wagner, Injectable, porous, biohybrid hydrogels incorporating decellularized tissue components for soft tissue applications, *Acta Biomaterialia*. 73 (2018), 112–126. doi:10.1016/J.ACTBIO.2018.04.003.

[32] X. Qu, A. Wirsén, A.C. Albertsson, Novel pH-sensitive chitosan hydrogels: swelling behavior and states of water, *Polymer*. 41 (2000), 4589–4598. doi:10.1016/S0032-3861(99)00685-0.

[33] R. Rakhshaei, H. Namazi, A potential bioactive wound dressing based on carboxymethyl cellulose/ZnO impregnated MCM-41 nanocomposite hydrogel, *Materials Science and Engineering: C*. 73 (2017), 456–464. doi:10.1016/J.MSEC.2016.12.097.

[34] K. Şarkaya, G. Akıncıoğlu, S. Akıncıoğlu, Investigation of tribological properties of HEMA-based cryogels as potential articular cartilage biomaterials, *Polymer-Plastics Technology and Materials*. 61 (2022), 1174–1190. doi:10.1080/25740881.2022.2039190.

[35] I.N. Savina, V. Cnudde, S. D'Hollander, L. Van Hoorebeke, B. Mattiasson, I.Y. Galaev, F. Du Prez, Cryogels from poly(2-hydroxyethyl methacrylate): macroporous, interconnected materials with potential as cell scaffolds, *Soft Matter*. 3 (2007), 1176. doi:10.1039/b706654f.

[36] D. Silva, A.C. Fernandes, T.G. Nunes, R. Colaço, A.P. Serro, The effect of albumin and cholesterol on the biotribological behavior of hydrogels for contact lenses, *Acta Biomaterialia*. 26 (2015), 184–194. doi:10.1016/J.ACTBIO.2015.08.011.

[37] Z. Di, Z. Shi, M.W. Ullah, S. Li, G. Yang, A transparent wound dressing based on bacterial cellulose whisker and poly(2-hydroxyethyl methacrylate), *International Journal of Biological Macromolecules*. 105 (2017), 638–644. doi:10.1016/J.IJBIOMAC.2017.07.075.

[38] K. Şarkaya, A. Demir, The comparative investigation on synthesis, characterizations of silver ion-imprinting and non-imprinting cryogels, their impedance spectroscopies and relaxation mechanisms, *Polymer Bulletin*. 76 (2019), 5701-5716. doi: 10.1007/s00289-018-2657-7.

[39] P. Choudhury, S. Kumar, A. Singh, A. Kumar, N. Kaur, S. Sanyasi, S. Chawla, C. Goswami, L. Goswami, Hydroxyethyl methacrylate grafted carboxy methyl tamarind (CMT-g-HEMA) polysaccharide based matrix as a suitable scaffold for skin tissue engineering, *Carbohydrate Polymers*. 189 (2018), 87–98. doi:10.1016/J.CARBPOL.2018.01.079.

[40] S. Demirci, N. Sahiner, Superporous neutral, anionic, and cationic cryogel reactors to improved enzymatic activity and stability of α-Glucosidase enzyme via entrapment method, *Chemical Engineering Journal*. 409 (2021), 128233. doi:10.1016/J.CEJ.2020.128233.

[41] V.J. Hodgson, G.M. Walker, D. Button, A rapid colorimetric assay of killer toxin activity in yeast, *FEMS Microbiology Letters*. 120 (1994), 201–205. doi:10.1111/J.1574-6968.1994.TB07031.X.

[42] X. Yang, L. Zhou, L. Lv, X. Zhao, L. Hao, Multi-stimuli-responsive poly(NIPA-co-HEMA-co-NVP) with spironaphthoxazine hydrogel for optical data storage application, *Colloid and Polymer Science*. 294 (2016), 1623–1632. doi:10.1007/S00396-016-3915-6.

[43] K. Çetin, Metal-ion assisted imprinted hydrogels for recognition of lysozyme, *Duzce University Journal of Science and Technology*. 9 (2021), 545–555. doi:10.29130/DUBITED.891731.

[44] X. Yang, L. Huang, L. Zhou, H. Xu, Z. Yi, A photochromic copolymer hydrogel contact lens: From synthesis to application, *International Journal of Polymer Science*. 2016 (2016),. doi:10.1155/2016/4374060.

[45] E. Su, O. Okay, Cryogenic formation-structure-property relationships of poly(2-acrylamido-2-methyl-1-propanesulfonic acid) cryogels, *Polymer*. 178 (2019), 121603. doi:10.1016/J.POLYMER.2019.121603.

[46] J. Ding, Q. Li, X. Xu, X. Zhang, Y. Su, Q. Yue, B. Gao, A wheat straw cellulose-based hydrogel for Cu (II) removal and preparation copper nanocomposite for reductive degradation of chloramphenicol, *Carbohydrate Polymers*. 190 (2018), 12–22. doi:10.1016/J.CARBPOL.2018.02.032.

[47] A.A. Duina, M.E. Miller, J.B. Keeney, Budding yeast for budding geneticists: A Primer on the Saccharomyces cerevisiae model system, *Genetics*. 197 (2014), 33–48. doi:10.1534/genetics.114.163188.

[48] G.G. Stewart, Saccharomyces species in the production of beer, *Beverages*. 2 (2016), 34. doi:10.3390/BEVERAGES2040034.

[49] D. Greig, J.-Y. Leu, Natural history of budding yeast, *Current Biology*. 19 (2009), R886–R890. doi:10.1016/j.cub.2009.07.037.

[50] A.J. Riquelme, M.A. Calvo, A.M. Guzmán, M.S. Depix, P. García, C. Pérez, M. Arrese, J.A. Labarca, Saccharomyces cerevisiae fungemia after *Saccharomyces boulardii* treatment in immunocompromised patients, *Journal of Clinical Gastroenterology*. 36 (2003).

[51] P. Muñoz, E. Bouza, M. Cuenca-Estrella, J.M. Eiros, M.J. Pérez, M. Sánchez-Somolinos, C. Rincón, J. Hortal, T. Peláez, Saccharomyces cerevisiae fungemia: An emerging infectious disease, *Clinical Infectious Diseases*. 40 (2005), 1625–1634. doi:10.1086/429916/2/40-11-1625-FIG001.GIF.

[52] M. Fadhel, S. Patel, E. Liu, M. Levitt, A. Asif, *Saccharomyces cerevisiae* fungemia in a critically ill patient with acute cholangitis and long term probiotic use, *Medical Mycology Case Reports*. 23 (2019), 23–25. doi:10.1016/J.MMCR.2018.11.003.

[53] P. Suppakul, K. Sonneveld, S.W. Bigger, J. Miltz, Efficacy of polyethylene-based antimicrobial films containing principal constituents of basil, *LWT - Food Science and Technology*. 41 (2008), 779–788. doi:10.1016/J.LWT.2007.06.006.

[54] K.K. Kuorwel, M.J. Cran, K. Sonneveld, J. Miltz, S.W. Bigger, Antimicrobial activity of natural agents against Saccharomyces cerevisiae, *Packaging Technology and Science*. 24 (2011), 299–307. doi:10.1002/PTS.939.

[55] N. Peng, Y. Wang, Q. Ye, L. Liang, Y. An, Q. Li, C. Chang, Biocompatible cellulose-based superabsorbent hydrogels with antimicrobial activity, *Carbohydrate Polymers*. 137 (2016), 59–64. doi:10.1016/J.CARBPOL.2015.10.057.

Necmettin Erbakan Üniversitesi
Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi
Journal of Science and Engineering (NEJSE)
DOI: 10.47112/neufmbd.2023.25

Cilt: 5 Sayı:2 Yıl: 2023 | Araştırma Makelesi / Research Article | E-ISSN: 2667- 7989

Kemometrik Veri Analiz Yaklaşımına Dayalı Senkron Floresans Spektroskopi Yöntemi: Mut (Mersin) Yöresi Zeytinyağları ve Rafine Yenilebilir Yağlarda Tağşiş Tespiti

Fatma Nur ARSLAN [1] İsmail VARLI[2]

[1]Karamanoğlu Mehmetbey University, Faculty of Science, Department of Chemistry, Karaman, Türkiye, arslanfatmanur@gmail.com *(Sorumlu Yazar/Corresponding Author)*

[2]Karamanoğlu Mehmetbey University, Faculty of Science, Department of Chemistry, Karaman, Türkiye, ismailvarli70@gmail.com

Makale Bilgileri

Makale Geçmişi
Geliş: 08.09.2023
Kabul: 10.10.2023
Yayın: 31.12.2023

Anahtar Kelimeler:
Floresans spektroskopi,
Kemometri,
Zeytinyağı,
Tağşiş.

ÖZ

Bu çalışma, Mut (Mersin) bölgesinden iki farklı hasat döneminde (2019 ve 2020 Ekim) elde edilen ekstra saf sızma zeytinyağı (VOO) ve farklı markalara ait rafine yemeklik yağ numunelerinde tağşiş/sahtecilik durumu hakkında fikir edinmeyi amaçlamaktadır. Araştırmayı gerçekleştirmek için senkron floresans (SyF) spektroskopisine dayalı analitik yaklaşım, PCA ve SIMCA kemometrik veri analiz yöntemi ile kullanılmıştır. SyF verileri 200–800 nm emisyon bölgesinde elde edilmiş ve uyarma/emisyon monokromatörleri senkronize şekilde kullanılmıştır. Saf VOO ve farklı türdeki yağ numuneleri için elde edilen veriler; PCA ve SIMCA çok değişkenli veri modellemeleri ile analiz edilmiştir. Elde edilen PCA skor grafiklerinde; yağ türlerinin ve farklı hasat zamanlarına ait zeytinyağı örneklerinin sınıflandırma yeteneğinin oldukça yüksek olduğu; SIMCA modellemelerinde ise VOO numunelerinin diğer yağ türlerinden %100 farklı bir grupta sınıflandırılabildiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak SyF spektroskopisi kemometrik analiz yöntemleri ile birleştirildiğinde hız ve maliyet açısından oldukça avantajlı bir yöntem olup, zahmetli numune ön işlemleri ve kimyasal kullanımını ortadan kaldırarak büyük kolaylık sağlamaktadır.

Synchronous Fluorescence Spectroscopy Method based on Chemometrics: Authentication of Extra Virgin Olive Oils Harvested in Mut (Mersin) Region and Refined Edible Oils

ArticleInfo

Article History
Received:08.09.2023
Accepted:10.10.2023
Published: 31.12.2023

Keywords:
Fluorescence spectroscopy,
Chemometrics,
Virgin olive oil,
Adulteration

ABSTRACT

This study aims to gain insights into the prediction for the authentication of extra virgin olive oils (VOOs) from two different harvest terms (2019 and 2020 October) in Mut (Mersin) region and other refined edible oils from different brands. To pursue the research, an analytical approach based on synchronous fluorescence (SyF) spectroscopy combined with chemometrics including PCA and SIMCA was used. The SyF data were gathered in the emission region of 200–800 nm, and the emission/ excitation monochromators were synchronously used. The data of VOO and different types of edible oil samples were analyzed by the multivariate data analysis including PCA and SIMCA. It has been determined that the classification ability of oil types from different harvest terms is quite high by PCA score graphs; and the VOOs could be classified in a 100% different group from other oils by SIMCA. Consequently, the SyF spectroscopy combined with chemometrics is very advantageous methodology in terms of speed and cost, and it provides a great convenience by eliminating the laborious sample pre-treatments and chemical usage.

Atıf/Citation: Arslan, F.N. & Varlı, İ. (2023). Synchronous fluorescence spectroscopy method based on chemometrics: authentication of extra virgin olive oils harvested in Mut (Mersin) region and refined edible oils, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*, 5(2), 278-287. https://doi.org/10.47112/neufmbd.2023.25

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

INTRODUCTION

Extra virgin olive oil (VOO) is a valuable nutrient that is produced from the fruit of olive tree (*Olea europaea L.*) has a unique taste and smell, and it could be consumed without refining process. The VOO is an important part of the Mediterranean diet due to its dietary and sensory properties, and it has been used as a protective and therapeutically effective nutrient from past to present, especially due to its bioactive components (*fatty acids, mono- and diacylglycerols, aliphatic alcohols and hydrocarbons, sterols, phenolic and volatile compounds, coloring agents and tocopherols, etc.*) and monounsaturated fatty acid (MUFA) profile [1–4]. These components also play an important role in autoxidation and photooxidation reactions. Fatty alcohols and diterpene alcohols in free or ester position are evaluated in aliphatic or aromatic alcohols, tocopherols are considered as compounds effective on the oxidative stability of biological oils, tyrosol and hydroxytyrosol, apigenin, luteolin, caffeic acid, *o*- and *p*-coumaric, ferulic, gallic, vanillic, phydroxybenzoic, protocatechic, syringic acids, oleuropein, pinoresinol and vanillin phenolic compounds provide the oil with bitterness aroma properties. On the other hand, the aromatic compounds play a vital function in determining the oil quality and occur biochemically as a result of controlled oxidation of fatty acids in the presence of various enzymes. To obtain VOO from olive fruit, mechanical or physical methods are generally used at a temperature that will not change its natural properties. The demand for methods such as cold press process, which preserves the bioactive component content of oily fruits, has increased significantly in recent years.Since, cold press is a process without high temperature and chemical application, there is no risk of solvent residue in the final oil product, and so it becomes a safer product [5] and more preferred by consumers. It is known that the bioactive components determined as active ingredients for the usage of VOOs are at a significant level [2,6–9]. Since these oils respond to consumers' search for natural and safe food, they have a commercially widespread consumption rate, although relatively expensive.

As in many foodstuffs, the adulterated extra VOO products are presented to market by unconscious producers for more profit, by adding less costly pomace or refined vegetable oils to expensive extra VOOs. Due to the adulteration, the quality of extra VOO products decreases; it could lead to dangerous health conditions and cause some ethical and moral problems. In proportion to the development of food technology, the variety of adulteration made to extra VOO products increases and its applicability becomes easier, so the analyses and comments on the subject could become more complex and troublesome [1–3,6–9]. Detection and quantification of inexpensive edible oil adulterants in extra VOOs is of great significance to the olive oil sector. The analytical methods used to conclude the quality and quantity of possible adulteration in VOOs are based on the determination of characteristic fluorescent components and ratios such as phenolic substances, fatty acid composition, sterols, triglycerides, etc. However, these analyses require the application of laborious pre-treatments, the use of high-cost systems and chemicals, as well as the expert analysts. In addition to the cost of specified analysis systems, they require long analysis times, making it necessary to develop alternative fast and simple methods [10–17]. For this reason, it is necessary to develop fast, simple, and non-destructive new analytical methods that provide great convenience by eliminating the pre-processes of the analysis, and provide advantages in terms of analysis time, cost, and environmental sensitivity. Several spectroscopic methods combined with chemometrics have been recently reported [10,11,18–22]; however, the findings obtained are limited and not always correctly predicted as methods are developed to a specific set of olive cultivars, harvesting/growing seasons, oil extraction techniques and geographical regions. In the context of the above objectives, herein we aimed to gain insights into the prediction of authentication of extra VOOs in Mut (Mersin) region and other refined edible oils from different brands by using SyF spectroscopy combined with chemometrics. The SyF data were analyzed in detail by multivariate data analysis including PCA and SIMCA.

MATERIALS AND METHODS

Chemicals and samples

The high–purity chemicals and reagents were procured from VWR Chemicals BDH Inc. (West Chester, Pennsylvania, US) and Sigma–Aldrich Inc. (St. Louis, Missouri, US). 60 different VOO samples of known origin

(Supplementary Table 1) and 26 different refined edible oil samples from local markets (Karaman City, Türkiye) were utilized to develop qualitative chemometrics models for the screening of their authentication [4]. The extra VOO samples from two different harvest terms (2019 and 2020 October, "Ayvalık" and "Gemlik") were procured from different local producers in Mut region (Mersin City, Türkiye), and the refined edible oils from different brands. The qualities of samples were all certificated on their labels with their acceptable limits by the related providers. The VOO from harvest term of 2019 October (*n=30; 2019–VOO–1 to 30*), VOO from harvest term of 2020 October (*n=30; 2020–VOO–1 to 30*), refined sunflower oil (SFO)(*n=5; SFO–1 to 5*), refined soybean oil (SBO)(*n=5; SBO–1 to 5*), refined hazelnut oil (HNO)(*n=6; HNO–1 to 6*), virgin olive oil (VOO)(*n=5; VOO–1 to 5*) and refined cottonseed oil (CSO)(*n=5; CSO–1 to 5*) samples were procured and filtered through a 0.45 µm pore size filter before the SyF measurements.

Acquisition of synchronous fluorescence (SyF) spectra

A fluorescence spectrophotometer (Agilent Tech. Cary Eclipse, US) was used to gather spectra at room temperature. The data were obtained in the emission wavelength region of 200–800 nm with λ_{exc}=360 nm; and the monochromators were used synchronously with ten different wavelength intervals ($\Delta\lambda$; $\Delta\lambda$=10 to 80 nm). The integration time, slit widths and acquisition intervals were set as 0.3 s, 5 nm and 1 nm, respectively. The samples were measured with a standard micro plate reader cuvette.

Data sets and chemometrics

The multivariate data analyses were done by Unscrambler®X10.4 (CAMO Software, Oslo, Norway) and Octave v.4.2.1 (GNU General Public License) softwares. The obtained SyF spectral data were subjected to the multivariate supervised [*principal component analysis (PCA)*] and unsupervised [*soft independent modeling of class analogy (SIMCA)*] data analyses. The SyF spectra were analyzed using the data of the full range (200-800 nm) and six different emission bands characterizing natural fluorescence compounds in vegetable oil samples [4]. The spectral data were presented in a matrix consisting of the total number of samples and their replicates in Office-365 (Microsoft Corporation, Redmond, WA), and then they were imported into the chemometric software. The data were schemed by OriginPro 9 (OriginLab, US) software.

RESULTS

SyF spectra of samples

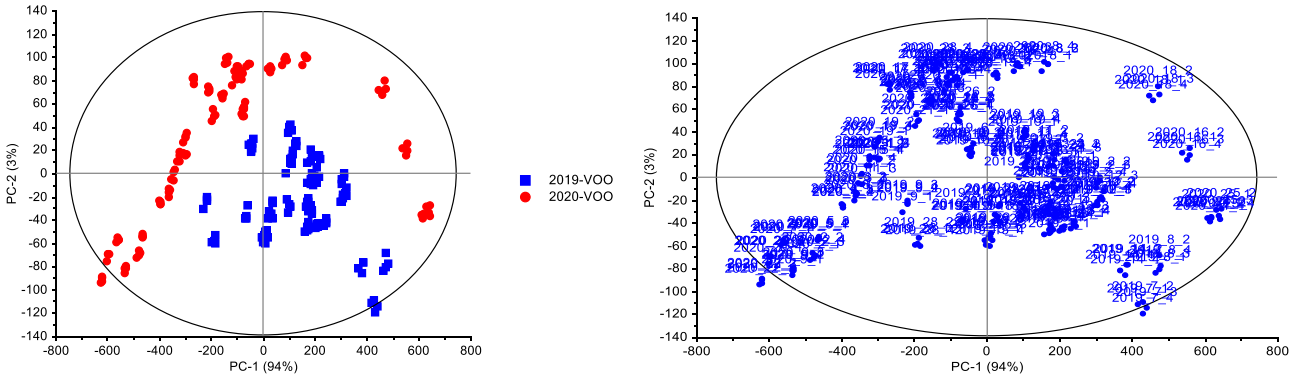
In the first stage of study, the SyF spectroscopy analyzes were performed for the classification of VOOs harvested from "Ayvalık" and "Gemlik" olive trees in the Mut (Mersin) region by cold pressing method and the other vegetable oil samples (*SBO, CSO, SFO, HNO and OO*) from different brands. The SyF spectroscopy analyzes were performed based on the methods recommended in literature [23–26], and the spectra were obtained by scanning the excitation and emission monochromators simultaneously in the wavelength range of 200–800 nm region. The spectra of extra VOO and other edible oil samples are given in Supplementary Figure 1. It has been determined that the $\Delta\lambda$ value applied between the monochromators ($\Delta\lambda$=10-80 nm) is quite effective for the determination of fluorescent compounds. At lower $\Delta\lambda$ values, it is seen that the emission intensities of fluorescent components are higher. It was concluded that when $\Delta\lambda$=10 nm value is applied; the most appropriate data could be obtained. The fluorescent components present in tested samples show characteristic emission bands in the spectrum [23–27]. Based on the strong emission peaks in the spectra, 6 basic regions were constructed, and the evaluations were made by considering these regions. The strong bands; region–I 340–365 nm (*tocopherols and phenolics*), region–II 365–420 nm (*refined/unrefined oil marker*), region–III 420–460 nm and region–IV 460–490 nm (*conjugated diene/trienes, hydrolysis products*), region–V 490–600 nm (*vitamin E) / α–tocopherol and fatty acid oxidation products*) and region–VI 650–700 nm (*pigment compounds such as chlorophyll and carotene*) were detected.

Authentication of VOOs and refined oils by PCA and SIMCA (200–800 nm region's data)

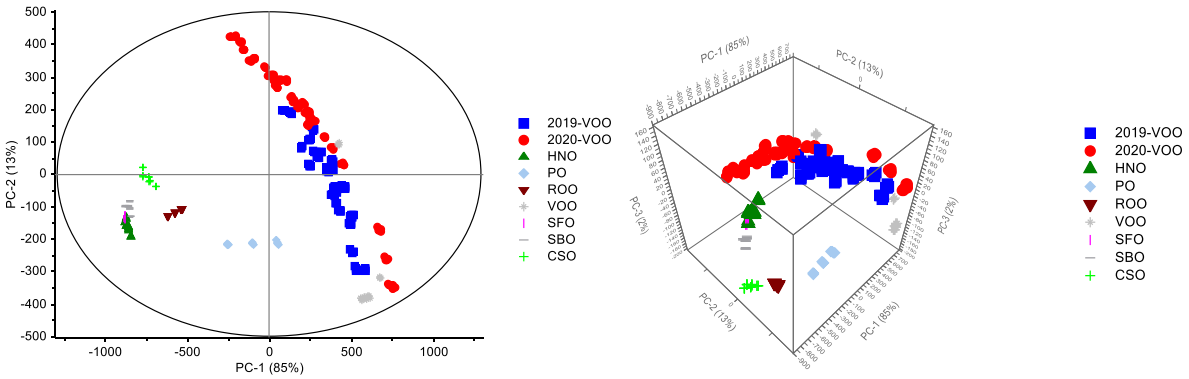
To determine the differences at molecular level in the oil samples and to develop prediction models, the multivariate data analyzes were carried out by processing the spectral data. To determine the adulteration;

qualitative classification/differentiation and quantitative estimation models were constructed. When the results of 60 extra VOO and commercial edible oil samples from 26 different companies are evaluated, it is seen that the spectra are quite similar to each other, and it is not possible to distinguish the oil types (Supplementary Figure 2). The raw data obtained as an Excel file was transferred to the Unscrambler®X10.4 program for the development of chemometrics models (Supplementary Figure 2a). Then, Savitzky–Golay preprocessing (Supplementary Figure 2b) and standard normal variate baseline correction (Supplementary Figure 2c) was applied to the data in order to increase the difference between the bands in spectra.

To examine the classification abilities of VOO samples based on their harvest periods, the PCA score graphs were constructed on 2 coordinates (PC1 & PC2) (Figure 1a) in the region of 200–800 nm. As seen from the score graphs, the extra VOO samples could be classified into distinctly different groups based on their harvest years. There is a quite different location for the VOO samples from the mentioned 2020 harvests [VOO-16 (Erdek), VOO-18 (Erdek), VOO-24 (Delice, Harap) and VOO-25 (Delice, Harap)] (Figure 1a). Apart from these samples, olive oil types could be classified successfully depending on their harvest year. The effect of different wavelength interval values (Δλ=10-80 nm) on classification was also examined in the region of 200–800 nm (Supplementary Figure 3).



(a) PCA score graph_VOO samples harvested in 2019&2020 October _ Full region 200–800 nm_Δλ=10 nm



(b) PCA score graph_VOO samples harvested in 2019&2020 October and other refined edible oil samples_ Full region 200–800 nm_Δλ=10 nm

Figure 1. *PCA 2D and 3D score plots (PC1&PC2&PC3) of* ***a)*** *2019–VOO and 2020–VOO and* ***b)*** *2019–VOO and 2020–VOO and other refined edible oils (Δλ=10 nm), from SyF analysis in the region of 200–800 nm*

As the Δλ value increased, the classification ability of oil types decreased, and the classification based the harvest periods decreased proportionally with the increase of Δλ value. In the PCA score graph (Figure 1a), the eigenvector value was obtained as 97% (PC1=94% and PC2=3%). When the value of Δλ=10 nm was applied, the separation was successfully achieved for the samples from different harvesting periods. In second stage of the study, the classification abilities of extra VOO samples and other oils were investigated by PCA in the region of 200–800 nm. The score graphs were obtained for different wavelength intervals (Δλ=10-80 nm) (Figure 1b and

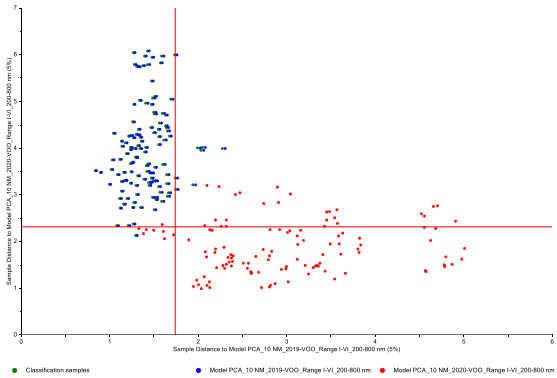
Supplementary Figure 4). It is clearly seen that the best classification was obtained for the Δλ value of 10 nm. In the score graphs visualized on 2 (PC1&PC2) or 3 coordinates (PC1&PC2&PC3), the eigenvector values are 98% (PC1=85%, PC2=13%) and 100% (PC1=85%, PC2=13%, PC3=2%) respectively, (Figure 1b). As the Δλ value increased, the classification ability between oil types decreased (Supplementary Figure 4). When the Δλ value of 80 nm was applied, the discrimination of samples was unsuccessful. The samples of PO, ROO and commercially supplied extra VOO, which are similar in terms of compounds with fluorescent properties, were located closer to the samples from local producers. The refined SFO, SBO, CSO and HNO samples, which have similar properties in terms of fluorescent components, were located in a close region to each other but quite different from the extra VOO samples and could be classified successfully.

In the second part of classification study, the SIMCA, which is an important multivariate data analysis used to decide whether a sample of unknown origin could be accepted into a certain quality class with the F-ratio, was performed at tolerance/confidence level of 95% (Figures 2 and 3). With the Coomans graphs, it was tried to decide whether the examined extra VOO samples could be accepted into the quality class or whether they could be distinguished from commercially supplied vegetable oils (*sunflower, soybean, olive pomace, refined olive oil, cotton and hazelnut oils*). As seen in the Coomans graphs; the VOO samples from both 2019 and 2020 October harvests could be classified in a 100% different group from sunflower, soybean, olive pomace, refined olive oil, cotton and hazelnut oils. In the samples of 2019 and 2020 October harvests with more similar content, this classification could be carried out, but similar types of extra VOO samples obtained from some producers were located in very close regions. Similar to the PCA score graphs, the samples of pomace, refined olive oil and commercially supplied extra VOO that show similarities in terms of fluorescent components (*tocopherols, pigments, phenolic compounds, fatty acid oxidation products, conjugated diene and triene structures*) were located closer to the samples obtained from different manufacturers. Other commercial sunflower, soybean, cotton and hazelnut oils with similar fluorescent components could be classified in a region that is close to each other but quite different from the extra VOO samples. Therefore, it has been observed that more successful classifications could be performed between the oil types by SIMCA.

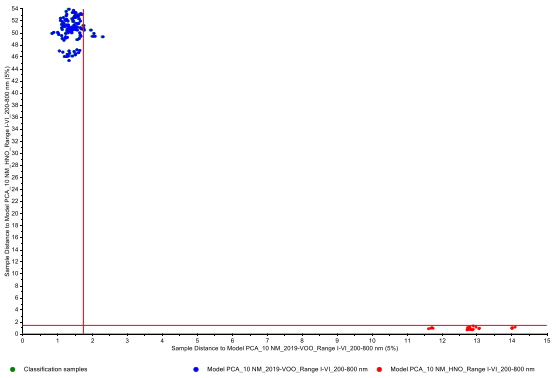
Authentication of VOOs and refined oils by PCA and SIMCA (selected region's data)

The SyF spectra were then analyzed using the data of six different emission bands (*region– I; 200–365 nm, region– II; 365–420 nm, region– III; 420–460 nm, region–IV; 460–490 nm, region–V; 490–600 nm, and region–VI; 600–800 nm*). It is known that the spectrum region of 340–365 nm represents tocols and phenolic components, the spectrum region of 365–420 nm represents the refined/unrefined oils, the 420–460 nm and 460–490 nm represent the conjugated diene/trienes and hydrolysis products, 490–600 nm represents vitamin E (α–tocopherol) and fatty acid oxidation products, and the spectrum region of 650–800 nm represents pigments such as chlorophyll and carotene [23–27]. The PCAs were carried out at Δλ=10 nm using data from these specific regions (Supplementary Figure 5). In the PCA score graphs at Δλ=10 nm; it is seen that the 650-800 nm spectrum region's score graph is the most appropriate for the classification of extra VOOs based on their harvest periods. The eigenvector value was 98% (PC1=95% and PC2=3%) obtained with the data of 650–800 nm region. Similarly, the 490–600 nm region data seems to contain applicable results for the classification of extra VOOs according to their harvest periods, and the eigenvector value in this score graph is 99% (PC1=96%, PC2=3%).

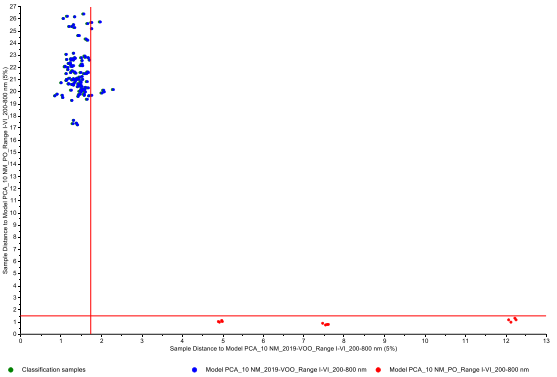
The classification ability of samples (sunflower, soy, olive pomace, refined olive oil, cotton and hazelnut) belonging to different local producers, olive species or brands was also examined by the data from specific regions. The PCA score graphs were constructed for different spectral regions (*region– I; 200–365 nm, region–II; 365–420 nm, region– III; 420–460 nm, region–IV; 460–490 nm, region–V; 490–600 nm, and region–VI; 600–800 nm*) (Supplementary Figure 5). It is seen that the data of 650-800 nm is the most appropriate data for the classification of samples, and the eigenvector value is 99% (PC1=88% and PC2=11%). The samples of PO, refined OO and commercially supplied extra VOO were located closer to the samples from Mut region. The commercial sunflower, soybean, cotton and hazelnut oils were located close to each other but different location from the extra VOO samples and could be classified successfully. Similarly, the data of 490–600 nm region seems to contain applicable results for the classification of samples, and the eigenvector value is 100% (PC1=97% and PC2=3%).



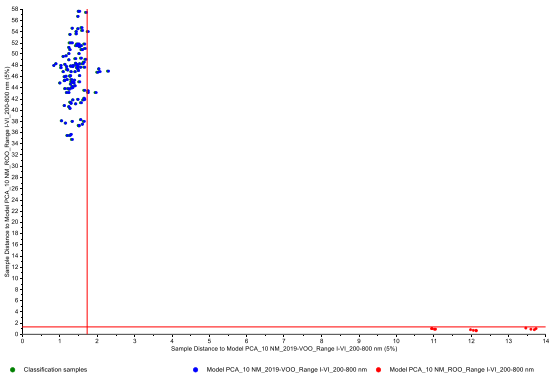
2019–VOO from 2020–VOO_ 200–800 nm_Δλ=10 nm



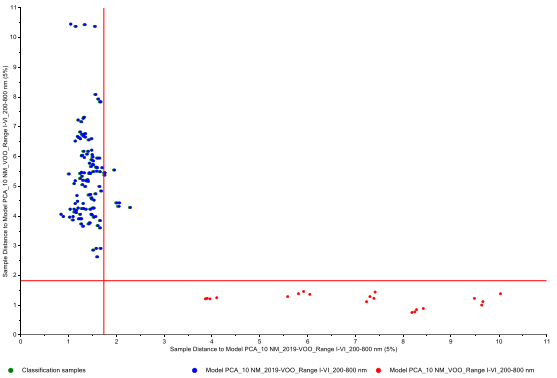
2019–VOO from HNO_ 200–800 nm_Δλ=10 nm



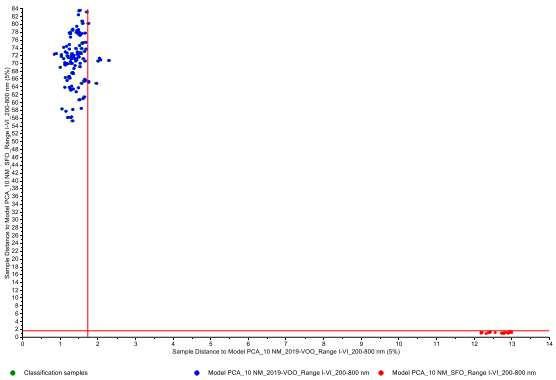
2019–VOO from PO_ 200–800 nm_Δλ=10 nm



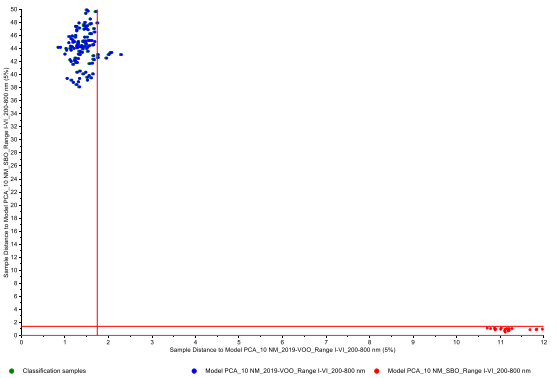
2019–VOO from ROO_ 200–800 nm_Δλ=10 nm



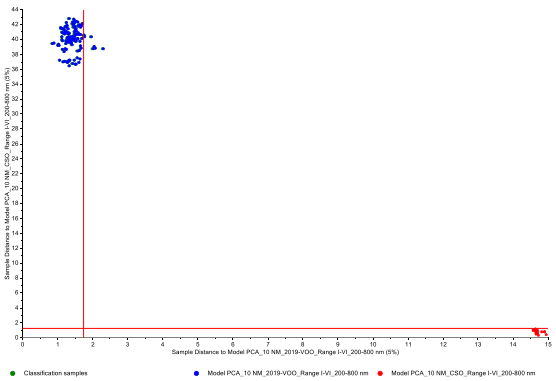
2019–VOO from OO_ 200–800 nm_Δλ=10 nm



2019–VOO from SFO_ 200–800 nm_Δλ=10 nm



2019–VOO from SBO_ 200–800 nm_Δλ=10 nm



2019–VOO from CSO_ 200–800 nm_Δλ=10 nm

Figure 2. *Coomans plots for the classification of 2019–VOO and other edible oils (Δλ=10 nm), recorded in the region of 200–800 nm*

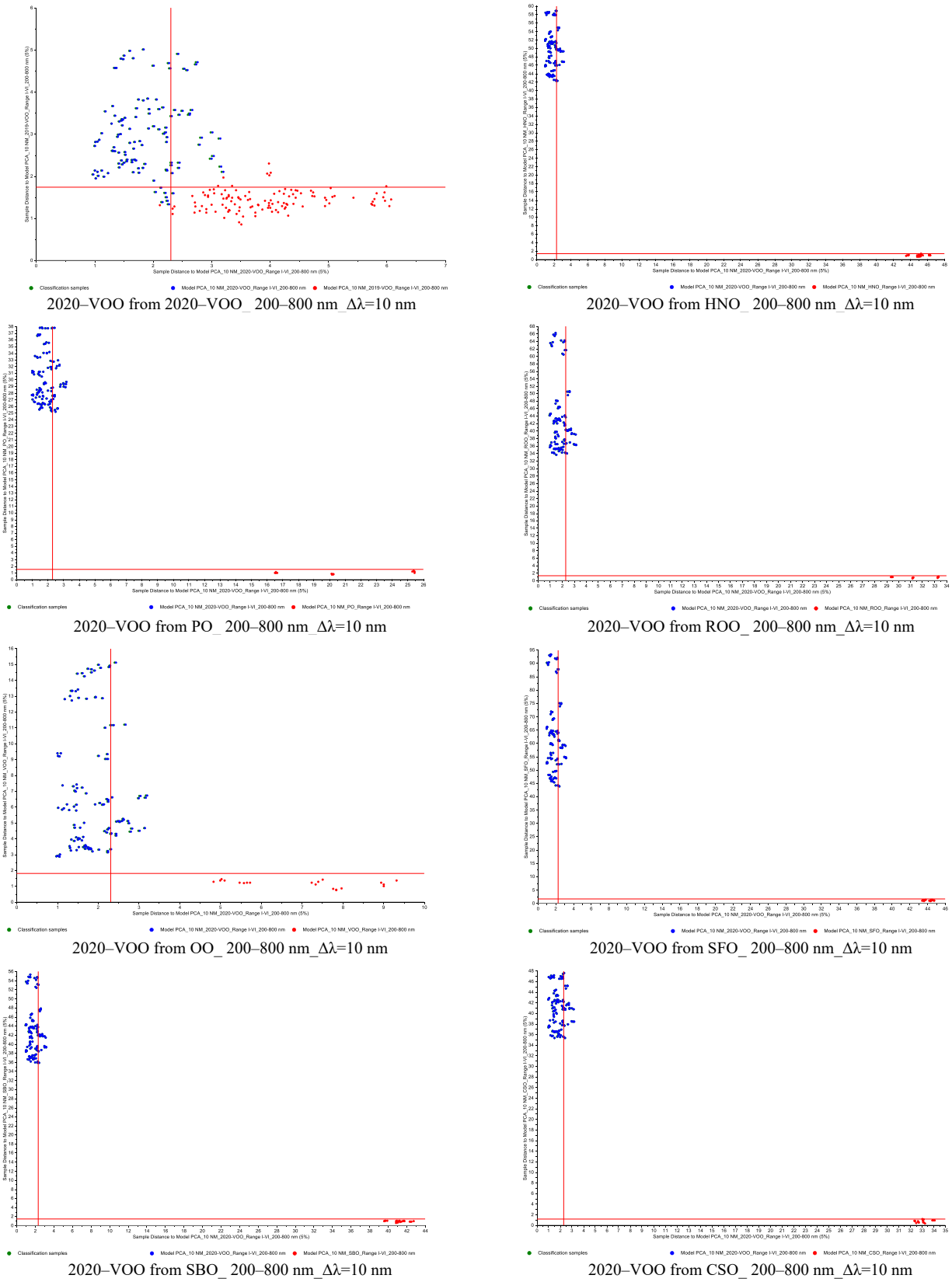


Figure 3. *Coomans plots for the classification of 2020–VOO and other edible oils (Δλ=10 nm), recorded in the region of 200–800 nm*

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

In conclusion, the study aimed to gain insights into the classification of olive oils obtained from "Ayvalık" and "Gemlik" olives harvested in Mut (Mersin) region from other edible oils and the development of emission

spectroscopy methodologies based on chemometrics. Different classification methods including unsupervised pattern recognition PCA and supervised pattern recognition SIMCA were applied to the SyF spectral data obtained from oil samples. The qualitative chemometrics models were constructed by evaluating the data from full spectral region (200–800 nm) and different spectral regions. The proposed SyF spectroscopy methods combined with chemometrics are very advantageous in terms of cost and analysis time, and they provide great convenience by eliminating laborious sample pre-treatments. The qualitative determination of possible adulteration to VOOs with inexpensive refined edible oils (*sunflower oil, hazelnut oil, cottonseed oil or soybean oil*) was extensively searched and the findings were well satisfactory.

Acknowledgements

The authors wish to acknowledge the Scientific Research Project Center of KMU due to their financial support. The study and a part of master thesis titled "Development of Simple andRapidSynchronousFluorescenceSpectroscopyMethodsbased on Chemometric Data Analysis ApproachfortheClassificationandAdulteration of OliveOils in Mut (Mersin) Region".

Funding

The study is financially supported by the Scientific Research Project Center of KMU with a project number 23–YL–20.

REFERENCES

[1] F.N. Arslan, ATR–FTIRspectroscopy combined with chemometrics for rapid classification of extra virgin olive oils and edible oils from different cultivars available on the Turkish markets, *Eskişehir Technical University Journal of Science and Technology A- Applied Sciences and Engineering*. 19 (2018), 926–947. doi:10.18038/aubtda.425374.

[2] I. Gouvinhas, J.M.M.M. De Almeida, T. Carvalho, N. Machado, A.I.R.N.A. Barros, Discrimination and characterisation of extra virgin olive oils from three cultivars in different maturation stages using Fourier transform infrared spectroscopy in tandem with chemometrics, *Food Chemistry*. 174 (2015), 226–232.

[3] G. Yildiz, T. Huseyin, Quantification of soybean oil adulteration in extra virgin olive oil using portable raman spectroscopy, *Food Measurement and Charecterization*. 11 (2017), 523–529. doi:10.1007/s11694-016-9419-8.

[4] İ. Varlı, Development of Simple and Rapid Synchronous Fluorescence Spectroscopy Methods based on Chemometric Data Analysis Approach for the Classification and Adulteration of Olive Oils in Mut (Mersin) Region, Master Thesis, *Karamanoglu Mehmetbey University Institute of Science, Department of Chemistry*, Karaman (2022).

[5] M.K. Demir, N. Bilgiçli, S. Türker, B. Demir, Farklı Stabilizasyon İşlemleri Uygulanmış Buğday Ruşeymlerinin Depolama Özellikleri, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*. 2 (2019), 67–75.

[6] M. Bevilacqua, R. Bucci, A.D. Magrì, A.L. Magrì, F. Marini, Tracing the origin of extra virgin olive oils by infrared spectroscopy and chemometrics: A case study, *Analytica Chimica Acta*. 717 (2012), 39–51. doi:10.1016/j.aca.2011.12.035.

[7] Lerma-Garcia, G. Ramis-ramos, J.J. Martinez-Tellez, Simo-Alfonso, Authentication of extra virgin olive oils by Fourier-transform infrared spectroscopy, *Food Chemistry*. 118 (2010), 78–83. doi:10.1016/j.foodchem.2009.04.092.

[8] G. Ozulku, R.M. Yildirim, O.S. Toker, S. Karasu, M.Z. Durak, Rapid detection of adulteration of cold pressed sesame oil adultered with hazelnut , canola , and sun fl ower oils using ATR-FTIR spectroscopy combined with chemometric, *Food Control*. 82 (2017), 212–216.

[9] P. De, A. Dominguez-vidal, J.M. Bosque-sendra, A. Ruiz-medina, L. Cuadros-rodríguez, M.J. Ayora-cañada, Olive oil assessment in edible oil blends by means of ATR-FTIR and chemometrics, *Food Control*. 23 (2012), 449–455. doi:10.1016/j.foodcont.2011.08.013.

[10] F. Mabood, R. Boqué, R. Folcarelli, O. Busto, A. Al-harrasi, J. Hussain, Thermal oxidation process accelerates degradation of the olive oil mixed with sunflower oil and enables its discrimination using synchronous fluorescence spectroscopy and chemometric analysis, *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 143 (2015), 298–303. doi:10.1016/j.saa.2015.01.119.

[11] A. Dankowska, M. Małecka, W. Kowalewski, Application of synchronous fluorescence spectroscopy with multivariate data analysis for determination of butter adulteration, *International Journal of Food Science and Technology*. 49 (2014), 2628–2634. doi:10.1111/ijfs.12594.

[12] J. Cao, C. Li, R. Liu, X. Liu, Y. Fan, Z. Deng, Combined Application of Fluorescence Spectroscopy and Chemometrics Analysis in Oxidative Deterioration of Edible Oils, *Food Analytical Methods*. 10 (2017), 649–658. doi:10.1007/s12161-016-0587-2.

[13] K. Poulli, N. V Chantzos, G.A. Mousdis, C.A. Gorgiou, Synchronous Fluorescence Spectroscopy : Tool for Monitoring Thermally Stressed Edible Oils, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 57 (2009), 8194–8201. doi:10.1021/jf902758d.

[14] F.N. Arslan, G. Akin, Ş.N. Karuk Elmas, I. Yilmaz, H.-G. Janssen, A. Kenar, Rapid detection of

authenticity and adulteration of cold pressed black cumin seed oil: A comparative study of ATR–FTIR spectroscopy and synchronous fluorescence with multivariate data analysis, *Food Control*. 98 (2019). doi:10.1016/j.foodcont.2018.11.055.

[15] A. Kenar, B. Çiçek, F.N. Arslan, G. Akin, Ş.N. Karuk Elmas, I. Yilmaz, Electron Impact – Mass Spectrometry Fingerprinting and Chemometrics for Rapid Assessment of Authenticity of Edible Oils Based on Fatty Acid Profiling, *Food Analytical Methods*. 12 (2019), 1369–1381.

[16] G. Akin, Ş.N. Karuk Elmas, F.N. Arslan, İ. Yılmaz, A. Kenar, Chemometric classification and quantification of cold pressed grape seed oil in blends with refined soybean oils using attenuated total reflectance–mid infrared (ATR–MIR) spectroscopy, *LWT - Food Science and Technology*. 100 (2019) 126–137. doi:10.1016/j.lwt.2018.10.046.

[17] F.N. Arslan, F. Çağlar, Attenuated Total Reflectance – Fourier Transform Infrared (ATR – FTIR) Spectroscopy Combined with Chemometrics for Rapid Determination of Cold-Pressed Wheat Germ Oil Adulteration, *Food Analytical Methods*. 12 (2019), 355–370.

[18] A. Sayago, D. Garcia-Gonzalez, M. Morales, R. Aparicio, Detection of the Presence of Refined Hazelnut Oil in Refined Olive Oil by Fluorescence Spectroscopy, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 55 (2007), 2068–2071.

[19] E. Sıkorska, A. Gliszczynska-Swiglo, I. Khmelinskii, M. Sıkorski, Synchronous Fluorescence Spectroscopy of Edible Vegetable Oils . Quantification of Tocopherols, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53 (2005), 6988–6994.

[20] E. Guzmán, V. Baeten, J. Antonio, F. Pierna, J.A. García-mesa, Evaluation of the overall quality of olive oil using fluorescence spectroscopy, *Food Chemistry*. 173 (2015), 927–934. doi:10.1016/j.foodchem.2014.10.041.

[21] P.B. Oldham, M.E. Mccarroll, L.B. Mcgown, I.M. Warner, N. Carolina, Molecular Fluorescence , Phosphorescence , and Chemiluminescence Spectrometry, *Analytical Chemistry*. 72 (2000), 197–210. doi:10.1021/a1000017p.

[22] K.I. Poulli, G.A. Mousdis, C. Georgio, Synchronous fluorescence spectroscopy for quantitative determination of virgin olive oil adulteration with sunflower oil, *Analytical Bioanalytical Chemistry*. 386 (2006), 1571–1575. doi:10.1007/s00216-006-0729-2.

[23] H. Tumay, U. Tamer, A. Berkkan, I. Hakki, Synchronous fluorescence spectroscopy for determination of tahini adulteration, *Talanta*. 167 (2017), 557–562.

[24] B. Li, H. Wang, Q. Zhao, J. Ouyang, Y. Wu, Rapid detection of authenticity and adulteration of walnut oil by FTIR and fluorescence spectroscopy : A comparative study, *Food Chemistry*. 181 (2015), 25–30. doi:10.1016/j.foodchem.2015.02.079.

[25] F. Ge, C. Chen, D. Liu, S. Zhao, Rapid Quantitative Determination of Walnut Oil Adulteration with Sunflower Oil Using Fluorescence Spectroscopy, *Food Analytical Methods*. 7 (2014), 146–150. doi:10.1007/s12161-013-9610-z.

[26] K.I. Poullı, N. V. Chantzos, G.A. Mousdıs, C.A. Georgıou, Synchronous Fluorescence Spectroscopy : Tool for Monitoring Thermally Stressed Edible Oils, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 57 (2009), 8194–8201. doi:10.1021/jf902758d.

[27] Ş.N. Karuk Elmas, F.N. Arslan, G. Akin, A. Kenar, H. Janssen, I. Yilmaz, Synchronous fluorescence spectroscopy combined with chemometrics for rapid assessment of cold – pressed grape seed oil adulteration : Qualitative and quantitative study, *Talanta*. 196 (2019), 22–31. doi:10.1016/j.talanta.2018.12.026.

Necmettin Erbakan Üniversitesi
Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi
Journal of Science and Engineering (NEJSE)
DOI: 10.47112/neufmbd.2023.26

Cilt: 5 Sayı:2 Yıl: 2023 | Araştırma Makelesi / Research Article | E-ISSN: 2667- 7989

Hastaların Acil Servis Seçimi İçin Q Seviyeli Bulanık MAIRCA Yöntemi Önerisi

Burak EFE [1] **Leyla EFE** [2]

[1] Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, burakefe0642@gmail.com *(Corresponding Author)*

[2] Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, leylabuyukesen93@gmail.com

Makale Bilgileri

Makale Geçmişi
Geliş: 31.07.2023
Kabul: 18.10.2023
Yayın: 31.12.2023

Anahtar Kelimeler:
Acil servis,
MAIRCA,
Q seviyeli bulanık sayı,
Yalın hizmet.

ÖZ

Acil serviste yalın hizmet uygulamaları sürecin iyileştirilmesini amaçlamaktadır. Acil serviste daha iyi hizmet verebilmek için hastaların hangi konularda şikâyetçi olduğunu belirlemek oldukça önemlidir. Yalının ilk aşaması olan değer kavramı hastaların belirtmiş olduğu değer kavramı olarak incelenmiştir. Bu çalışma ilk olarak hastaların acil serviste belirtmiş olduğu şikâyetleri belirlemiştir. Bu şikayetler; hastanenin temizliği ve sessizliği, güvenilir personel ve hizmet, ilk seferde doğru teşhis ve muayene, hastaların bilgilendirilmesi, hızlı ve doğru muayene, personele ihtiyaç anında ulaşabilmek, beklemelerin olmaması, ziyaret saatlerinin uygun olması, ilgili ve güler yüzlü personeldir. Bu şikayetler önerilen yöntemde kriter olarak ele alınmıştır. Kriterlerin önem dereceleri q seviyeli bulanık sayı kullanılarak uzman ekibin (1 Akademisyen,1 doktor ve 1 hemşire) görüşleri doğrultusunda hesaplanmıştır. Kriterlerin önem dereceleri belirlendikten sonra dört acil servisin sıralaması q seviyeli bulanık MAIRCA (Multi Attributive Ideal-Real Comparative Analysis) yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Bu çalışma yalın hizmet değer kavramının analizi için yeni bir bakış açısı sunmuş ve bu değerlerin önem derecelerine göre acil servisleri sıralayarak literatüre katkı sunmuştur.

Q-Rung Orthopair Fuzzy MAIRCA Method Recommendation for Emergency Service Selection of Patients

Article Info

Article History
Received: 31.07.2023
Accepted: 18.10.2023
Published: 31.12.2023

Keywords:
Emergency service,
MAIRCA,
Q-rung orthopair fuzzy number,
Lean service.

ABSTRACT

Lean service practices in the emergency department aim to improve the process. In order to provide better service in the emergency department, it is very important to determine which subjects the patients complain about. The concept of value, which is the first stage of lean, was examined as the concept of value stated by the patients. This study first identified the complaints that patients reported in the emergency department. These complaints are the cleanliness and silence of the hospital, reliable staff and service, correct diagnosis and examination at the first time, informing the patients, fast and accurate examination, reaching the personnel when needed, no waiting times, convenient visiting hours, concerned and friendly staff. These complaints are considered as criteria in the proposed method. The importance levels of the criteria were calculated in line with the opinions of the expert team (1 academician, 1 doctor and 1 nurse) using the q-rung orthopair fuzzy number. After determining the importance degrees of the criteria, the ranking of the four emergency services was determined using the q-rung orthopair fuzzy MAIRCA (Multi Attributive Ideal-Real Comparative Analysis) method.

Atıf/Citation: Efe, B. & Efe, L. (2023). Hastaların Acil Servis Seçimi İçin Q Seviyeli Bulanık MAIRCA Yöntemi Önerisi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi,* 5(2), 288-298. https://doi.org/10.47112/neufmbd.2023.26

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

INTRODUCTION

İşletmeler performans göstergesi olarak verimliliği de kullanmaktadır. Verimliliğini arttıran firmalar artan rekabet ortamında ayakta kalabilmeyi uzun vadede sağlayabilecektir. Verimlilik azalması firmanın maliyetlerinin artışı ve kar düşüşüne neden olurken pazar payının azalması sonucunu doğuracaktır. Japonya'da Eiji Toyoda ve Taiichi Ohno, 2. Dünya Savaşı'ndan sonra yalın üretime öncülük etmişlerdir. Japonya günümüzdeki ekonomik üstünlüğüne yalın üretim kavramını işletmelerine uygulayarak ulaşmıştır [1]. Japonya'da yalın üretim otomotiv sektöründe uygulandıktan sonra diğer sektörlere de uygulanmıştır. Daha sonra başka ülkelere ve artık hizmet sektöründe de uygulanmaya başlanmıştır. Hizmet sektörü olarak banka, sağlık, lojistik vb. örnekler söylenebilir [2].

Yalın üretimin temel amacı, sistemin verimliliğini arttırmak için değer katmayan faaliyetlerin minimize edilmesi ya da ortadan kaldırılmasıdır. Değer katmayan faaliyetler israf olarak adlandırılmaktadır. Bu çalışmanın amacı, hastaların belirtmiş olduğu şikâyetleri önceliklendirerek en iyi acil servisi seçmektir. Bu kapsamda hastaların acil servisle ilgili şikâyetleri bir uzman ekip (1 Akademisyen, 1 doktor ve 1 hemşire) tarafından tespit edilmiştir. Uzman ekibin acil servisleri kullanan hastalarla yaptığı görüşmeler neticesinde dokuz hasta şikayetini belirlemiştir. Bu şikayetler yalın hizmetin ilk aşaması olan değer kısmıyla ilgilidir. Uzman ekip öncelikle acil servislerde hastanın önem verdiği kriterleri önceliklendirmeyi daha sonra bu kriterlere göre dört acil servisi sıralamayı amaçlamıştır. Üç uzman belirtilen dokuz kriteri q seviyeli bulanık sayıları kullanarak belirtmiştir. Birleştirme operatörü yardımıyla üç uzmanın görüşü birleştirilmiş ve grup kararı elde edilmiştir. Böylece her bir kriterin önem derecesi belirlenmiştir. Üç uzman daha sonra bu kriterleri ele alınan dört acil serviste incelemiştir. Üç uzman her bir acil servisi dokuz kriter için q seviyeli bulanık sayı yardımıyla değerlendirmiştir. Üç uzmanın görüşü birleştirme operatörü kullanılarak grup görüşü olarak hesaplanmıştır. Elde edilen grup görüşü q seviyeli bulanık sayı temelli MAIRCA yönteminde kullanılmıştır. Literatürde mevcut bir yöntem olarak farklı uygulama alanlarında uygulanan q seviyeli bulanık sayı temelli MAIRCA yöntemi bu çalışmada yalın hizmet alanına uygulanmıştır. Böylece yalın hizmetin ilk aşaması olan değer analizi kısmına yeni bir bakış açısı sunmuştur. Çok kriterli karar verme teknikleri konut seçimi [3], kalite iyileştirme [4] ve yer seçimi [5] gibi farklı alanlarda uygulanmıştır. Bu çalışmada çok kriterli karar verme tekniği olan MAIRCA yöntemi q seviyeli bulanık sayı kullanılarak incelenmiştir.

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI (LITERATURE RESEARCH)

Acil serviste son yıllarda yapılmış olan yalın üretim prensipleri uygulaması hakkındaki araştırmalar aşağıda özet olarak sunulmuştur:

Kim ve ark. [6], hasta bakımı ve memnuniyetini iyileştirmek için yalın üretim prensiplerini hastanede uygulamıştır. Hastanedeki malzeme ve bilgi akışını göstermek için değer akış haritalama (DAH) tekniğini kullanmışlardır. Joosten ve ark. [7], sağlık sektöründe yalın düşüncenin bekleme sürelerini azaltabileceğini fakat uzun dönemde başarısız olabileceğini belirtmiştir. Dickson ve ark. [8], dört acil serviste bekleme süresi ve hasta memnuniyeti için DAH yapmıştır. Hasta sayısındaki artışa rağmen bekleme sürelerinde azalmalar kaydetmiştir. Dickson ve ark. [9], bir acil serviste yalın prensipleri uygulamıştır. DAH tekniğini kullanarak hasta sayısı artmasına rağmen bekleme sürelerini azaltmıştır. Ayrıca hasta başına maliyette herhangi bir artış meydana gelmemiştir. Büyüközkan ve ark. [10], ilk olarak hizmet kalitesinin kavramını ve faktörlerini incelemişlerdir. Sonra bulanık AHP ile önerilen hizmet kalitesi çerçevesini değerlendirmişlerdir. Önceki çalışmalar, hizmet kalitesini ölçmek için SERVQUAL(hizmet kalitesi) metodolojisini kullanmışlardır. Türkiye'deki sağlık bakım sektöründeki bir çalışma bulanık AHP metodolojisini açıklamak için sunulmuştur. Ho [11], sağlık yönetim merkezinin müşteriler tarafından seçimi için beş temel kriter belirlemiştir. Bunlar; sağlık yönetim bölümü, personel hizmet bölümü, sağlık muayene hizmet bölümü, pazarlama bölümü ve çevre bölümüdür. Bu kriterlerin değerlendirilmesi için bulanık AHP yönetimini kullanmıştır. Araştırma sonuçları, yeni müşteri kazanmak ve hizmet kalitesini arttırmak için ilgili sağlık muayene birimine ve hastane personeline sunulmuştur. Efe ve Engin [2] bir acil serviste DAH yöntemini kullanarak mevcut ve gelecek durum karşılaştırması yapmışlardır. White ve ark. [12] laboratuvar süreç akışının yalın temelli yeniden düzenlenmesinin laboratuvar geri dönüş sürelerini

iyileştireceği ve sistemdeki israfı azaltacağı hipotezini incelemiştir. Çalışmada bir eğitim hastanesi acil servisinde laboratuvar süreç iyileştirme analizinin öncesi ve sonrası durumunu incelenmiştir. Müdahale, hiçbir ek kaynak olmaksızın sistem mühendisliği bilimi ve yalın metodolojilere dayalı olarak laboratuvar numune akışının yeniden düzenlenmesini içermiştir. Allaudeen ve ark. [13] acil serviste kabul edilen hastaları yatılı tutma uygulaması, olumsuz operasyonel, klinik ve hasta memnuniyeti sonuçlarını iyileştirmek için yalın araçlar kullanmıştır. Kabul edilen hastalar için acil serviste kalış süresini azaltmaya odaklanan müdahaleler daha az araştırılmıştır. Al Owad ve ark. [14] hasta akışı sorunlarının temel nedenlerini belirleyerek ve acil servislerde yalın bir hasta akışı süreci önererek hasta akışını iyileştirmek için entegre bir yalın metodoloji sunmaktadır. Metodoloji, acil servis sürecinde katma değeri olmayan faaliyetleri belirlemek için "sürecin sesi", "müşterilerin sesi" ve "personelin sesi"ni birleştirmektedir. Bu entegrasyon, hastanenin acil servisindeki iş ve süreç akışını modellemek, değerlendirmek ve iyileştirmek için kullanılmaktadır. Mevcut faaliyetler, atık kaynaklarını belirlemeye yönelik görsel araçlar olarak süreç haritası ve A3 problem çözme sayfası kullanılarak analiz edilmektedir. Shakoor ve ark. [15] acil servis hizmetlerinin kullanımını test etmek için yalın üretim tabanlı metodolojinin yönetim ilkelerini kullanmıştır. Takt süresi kavramı kullanılarak, acil servis hizmetlerinin etkililiğini yargılamak için ayrı bir departmanın verimliliği ve göreli verimliliği hesaplanmıştır. Verbano ve Crema [16] acil serviste radyoloji geri dönüş sürelerini azaltmak için yalın düşüncenin bir uygulamasına odaklanmıştır. Yalın düşüncenin benimsenmesini sağlayan temel faktörleri vurgulamayı amaçlamıştır. Sağlık hizmetlerinde yalın projeleri analiz etmek için literatürde bir araştırma çerçevesi geliştirilmiş ve bir İtalyan hastanesinde seçilen vakayı incelemek üzere uyarlanmıştır. Özellikle, uygulanan metodolojinin, araçların ve prosedürlerin organizasyonel yönleri, aşamaları ve faaliyetleri ve elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir. Maliszewski ve ark. [17] yalın sigma ilkelerine dayalı olarak, bir yetişkin acil servisinde göğüs ağrısı, göğüste sıkışma ve göğüs basıncı şikayetleri olan hastalara hemşire triajının ertelenmesini ve klinik teknisyenler için elektrokardiyografi sırasına öncelik vermede bir gösterge olarak onlara kırmızı kalp simgesi verilmesini içeren bir protokol uyguladı. Daly ve ark. [18] hasta akışını kolaylaştırmak için verilerin kullanılabilirliğini ve verilere erişimini iyileştirmek için bir acil servis veri yönetimi sistemini yeniden tasarlamıştır. Acil servis veri yönetimi süreçlerinde iyileştirilecek alanları belirlemek ve iyileştirilmiş acil servis hasta akış süreçleri için çözümlere bilgi sağlamak üzere müşterinin sesi, Gemba ve 5S'ye odaklanan Yalın Altı Sigma metodolojisi kullanılarak bir müdahale öncesi/sonrası tasarım kullanmıştır. Acil servis hasta akış verilerine erişmek için hasta müdahalesi öncesi ortalama 9 dakikadan müdahale sonrası hemen müdahaleye kadar geçen sürede bir azalma sağlamıştır. Tlapa ve ark. [19] sağlık bakım hizmetlerinde dijital teknolojiler tarafından desteklenen yalın müdahalelerin etkisini incelemiştir. Hasta sağlığı, personel refahı, kaynak kullanımı ve tasarrufla ilgili çok az sonuç bulmuştur. Sağlık hizmetlerinde dijital teknolojilerin yalın veya yalın-Altı Sigma ile ikili müdahalesini araştıran ilk makale olan bu makale, benzer müdahalelerle ilişkili teknik ve organizasyonel zorlukları özetlemekte, daha fazla araştırmayı teşvik etmekte ve pratik uygulamaları teşvik etmektedir. Leite [20] Covid-19 salgını sırasındaki artan sağlık talebine yalın operasyonlar ile cevap verebilmeyi incelemiştir. Sınırlama kapasite ve beklenmeyen talepleri içeren kriz durumlarında sağlık bakım iyileştirmeleri için yalının rolünü araştırmıştır.

Moffatt ve ark. [21] İrlanda'daki özel bir hastanede ön çapraz bağ rekonstrüksiyonu hastalarının memnuniyetini korurken kalış süresini kısaltmayı, hasta akışındaki katma değeri olmayan aktiviteleri azaltmayı, hasta akışını, yatak kapasitesini ve hastane sistemi içerisinde gelir artırmayı amaçlamıştır. Harahap ve ark. [22] hastane hizmet kalitesi ve yatan hasta memnuniyeti üzerine yalın yaklaşımın etkisini araştırmıştır. Aşırı üretim, bekleme süresi, nakliye, fazla işleme, stok, hareket ve memnuniyet kusurları gibi değişkenlere dayalı yalın hizmet yaklaşımının etkisini belirlemeyi amaçlamıştır. Vanichchinchai [23] ayakta tedavi departmanlarında yalın, hizmet kalitesi beklentisi ve hizmet kalitesi performansı arasındaki bağlantıları araştırmıştır. Yapısal eşitlik modelleme yaklaşımının kullanıldığı çalışmada yalınlığın somutluk, güvenilirlik, yanıt verebilirlik, güvence ve empati gibi hizmet kalitesi performansı üzerinde önemli olumlu etkileri olduğu belirlenmiştir. Jesudason [24] ameliyathanelerin atık üretimi ve enerji tüketimi açısından önemli alanlar olduğunu belirtmiştir. Kaynakların ihtiyatlı kullanımının hem düşük karbonlu alternatifleri hem de yalın hizmet sunum modelini inceleyerek mümkün olduğunu belirtmiştir.

Literatürdeki çalışmalarda sağlık bakım süreçlerinin iyileştirilmesi için yalın üretim tekniklerinden

değer akış haritalama yöntemi yoğun olarak incelenmiştir. Ayrıca çok kriterli karar verme teknikleri de araştırmacılar tarafından ele alınmıştır. Mevcut çalışmalar israf noktalarını belirlemiş olmakla birlikte zaman ve maliyet gibi kısıtlardan dolayı sistem yöneticilerinin tüm israflara müdahale edemeyeceği ihtimalini ihmal etmişlerdir. Bu nedenle en önemli israfların ortadan kaldırılmasına yönelik politikalar belirlenmelidir. Bu çalışma bu israf noktalarını önceliklendirmeye yönelik bir yöntem önermektedir. Acil serviste yalın hizmetin oluşturulması için ilk olarak belirlenmesi gereken değer kısmına odaklanılmış ve israf noktaları belirlenmiştir. Acil serviste değeri tanımlayacak olan hastanın şikayetlerinden yola çıkarak iyileştirilmesi gereken şikayetler incelenmiştir. Ayrıca mevcut şikayetler temelinde dört acil servis değerlendirilmiştir. Böylece yalın hizmetteki değer parametresi temel alınarak acil servisler sıralanmıştır. Bu değerlendirme için q seviyeli bulanık sayı temelli MAIRCA yöntemi kullanılarak ilgili literatüre katkı sağlanmıştır.

Tip -1 bulanık sayı, aralık tip-2 bulanık sayı, küresel bulanık sayı vb. bulanık sayılar sadece aitlik derecesini belirttiği için yetersiz kalmaktadır. Sezgisel bulanık sayı, pisagor bulanık sayı ve q seviyeli bulanık sayı üç parametreyi aitlik derecesi, ait olmama derecesi ve tereddütlük derecesini ele almaktadır. Böylece uzman görüşleri toplanırken belirtilen dilsel terimi bu üç parametreyle tanımlanması sağlanmış olmaktadır. Sezgisel bulanık sayıda aitlik derecesi ve ait olmama derecesi toplamı 1'den küçüktür. Pisagor bulanık sayıda aitlik derecesinin karesi ve ait olmama derecesi karesi toplamı 1'den küçüktür. q seviyeli bulanık sayıda q. dereceden aitlik derecesi ve q. dereceden ait olmama derecesi toplamı 1'den küçüktür. Örneğin bu çalışmada çok düşük dilsel teriminin ait olma derecesi 0.15, ait olmama derecesi 0.99 olarak belirlenmiştir. 0.15+0.99=1.14 olduğu için sezgisel bulanık sayı kullanılamaz. 0.152+0.992=1.0026 olduğu için pisagor bulanık sayı kullanılamaz. Bu nedenle q=3 alınarak 0.153+0.993=0.9737 elde edilmiş ve q seviyeli bulanık sayı kullanılmıştır. MAIRCA yönteminde değerlendirilen alternatifler başlangıç adımında eşit önemde kabul edilmektedir. Sonraki adımlarda ise kriter temelli alternatif için değerlendirme yapıldığından eşit öneme sahip olması ortadan kalkmakta ve alternatifler kolayca sıralanabilmektedir. MAIRCA yöntemi bu avantajı nedeniyle bu çalışmada dört acil servis alternatifinin sıralaması için kullanılmıştır.

YÖNTEMLER (METHODS)

Bu çalışmada q seviyeli bulanık sayı kullanılarak kriterlerin önem dereceleri belirlenmiştir. Daha sonra q seviyeli bulanık MAIRCA yöntemi dört alternatif acil servisin sıralaması için kullanılmıştır.

Sezgisel bulanık sayı ve Pisagor bulanık sayının eksikliklerinin üstesinden gelmek için Yager [25] tarafından aşağıda sunulan q basamaklı orthopair bulanık sayı önerilmiştir.

$A = \{(x, \mu_A(x), v_A(x)) \mid x \epsilon X\}$ tüm $x \epsilon X$ için $\mu_A(x): X \to [0,1]$, $x \epsilon X \to \mu_A(x) \epsilon [0,1]$, $v_A(x): X \to [0,1]$, $x \epsilon X \to v_A(x) \epsilon [0,1]$ ve $0 \leq \mu_A(x) + v_A(x) \leq 1$ şartlarını sağlamalıdır. $\mu_A(x)$ ve $v_A(x)$ sırasıyla A kümesindeki $x \epsilon X$ için üyelik derecesi ve üye olmama derecelerini göstermektedir. Ayrıca $\pi_A(x) = \left(1 - \left(\mu_A(x)\right)^q - \left(v_A(x)\right)^q\right)^{1/q}$ $\forall x \epsilon X$ ise A kümesindeki x' in belirsizlik derecesini göstermektedir. $\mu^q + v^q \leq 1$ şartının gerçekleşmesi gerekmektedir. Uzman görüşlerini birleştirmek için Eşitlik 1'deki birleştirme operatörü kullanılacaktır [25].

$$q - ROFWA(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_l) = \left(\left(1 - \prod_{k=1}^{l}(1 - \mu_k(x)^q)^{\lambda_k}\right)^{1/q}, \prod_{k=1}^{l} v_k(x)^{\lambda_k}\right) \quad (1)$$

İki q seviyeli bulanık sayı $a_1 = \langle \mu_1, v_1 \rangle_q$ ve $a_2 = \langle \mu_2, v_2 \rangle_q$ herhangi bir k değeri verildiğinde, q seviyeli bulanık kümeler için matematiksel işlemler Eşitlik (2-5)'deki gibi aşağıda verilmektedir [26]:

$$a_1 \oplus a_2 = \langle (\mu_1^q + \mu_2^q - \mu_1^q \mu_2^q)^{1/q}, v_1 v_2 \rangle_q \quad (2)$$

$$a_1 \otimes a_2 = \langle \mu_1 \mu_2, (v_1^q + v_2^q - v_1^q v_2^q)^{1/q} \rangle_q \quad (3)$$

$$k a_1 = \langle \left(1 - (1 - \mu_1^q)^k\right)^{1/q}, v_1^k \rangle_q \quad (4)$$

$$a_1^k = \langle \mu_1^k, \left(1 - (1 - \mu_1^q)^k\right)^{1/q} \rangle_q \quad (5)$$

$a = \langle \mu_a, v_a \rangle$ bir q seviyeli bulanık sayı olduğunu düşünürsek, a'nın skor fonksiyonu $S(a)$ Eşitlik (6) ve doğruluk fonksiyonu $P(a)$ Eşitlik (7) kullanılarak belirlenir [27].

$$S(a) = (1 + \mu_a^q - v_a^q)/2 \quad (6)$$

$$P(a) = (\mu_a^q + v_a^q) \quad (7)$$

Daha büyük skor değerine sahip a sayısı diğer sayılara göre daha büyük olarak kabul edilmektedir. Daha büyük doğruluk değerine sahip a sayısı diğer sayılarak göre daha büyük olacaktır.

MAIRCA yönteminin adımları aşağıda özetlenmiştir [28]:

Adım 1: Her bir kriter (C_j) temelli alternatiflerin (A_i) değerleri Eşitlik (8)'de gösterilmektedir. Toplam alternatif sayısı m ve toplam kriter sayısı n ile gösterilmektedir.

$$x = \begin{matrix} C_1 & C_2 & \dots & C_n \end{matrix} \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (8)$$

Adım 2: i. alternatifin önceliği (P_{Ai}) Eşitlik (9) kullanılarak belirlenir.

$$P_{Ai} = \frac{1}{\mathrm{m}} ; \sum_{i=1}^{m} P_{Ai} = 1 \qquad i = 1,2,3, \dots, m \quad (9)$$

Her bir alternatifin önceliği eşit uzaklıkta olan karar vericiden dolayı birbirine eşittir

$$P_{A1} = P_{A2} = \cdots = P_{Am} \quad (10)$$

Adım 3: Teorik derecelendirme matrisinin elemanları ($tpij$), alternatiflerin önceliklerinin (P_{Ai}) kriter ağırlıkları (wj) ile çarpılması sonucu hesaplanmaktadır.

$$\begin{bmatrix} P_{A1} * W_1 & P_{A1} * W_2 & \cdots & P_{A1} * W_m \\ P_{A2} * W_1 & P_{A2} * W_2 & \cdots & P_{A2} * W_n \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ P_{Am} * W_1 & P_{Am} * W_2 & \cdots & P_{Am} * n \end{bmatrix} \quad (11)$$

Adım 4: Gerçek Derecelendirme Matrisi (Tr), maksimizasyon tipli kriterlerde Eşitlik (12), minimizasyon yönlü kriterlerde ise Eşitlik (13) kullanılarak hesaplanır.

$$\mathrm{t_{ri_J}} = \mathrm{t_{pi_J}} * \left(\frac{\mathrm{x_{i_J}} - \mathrm{x_{\bar{i}J}}}{\mathrm{x_{i_J}^{+}} - \mathrm{x_{\bar{i}J}}} \right) \quad (12)$$

$$\mathrm{t_{ri_J}} = \mathrm{t_{pi_J}} * \left(\frac{\mathrm{x_{i_J}} - \mathrm{x_{i_J}^{+}}}{\mathrm{x_{i_J}^{-}} - \mathrm{x_{i_J}^{+}}} \right) \quad (13)$$

$\mathrm{x_{i_J}^{+}}$ kriterin alternatiften aldığı maksimum değeri ($\mathrm{x_{i_J}^{+}} = \max(\mathrm{x1}, \mathrm{x2}, \dots, \mathrm{xm})$, $\mathrm{x_{i_J}^{-}}$ kriterin alternatiften aldığı minumum değeri ($\mathrm{x_{i_J}^{-}} = \min(\mathrm{x1}, \mathrm{x2}, \dots, \mathrm{xm})$ göstermektedir.

Adım 5: Teorik derecelendirme matrisinden (Tp) gerçek derecelendirme matrisi (Tr) çıkarılarak, Boşluk Matrisi (G) belirlenir.

$$Gij = tpij - trij \quad (14)$$

$$G = T_P - T_R \begin{bmatrix} g_{11} & g & \cdots & g_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{m1} & g_{m2} & \cdots & g_{mn} \end{bmatrix} \quad (15)$$

Adım 6: Boşluk matrisinde her bir alternatif için kriter bazlı değeri Eşitlik (16) kullanılarak hesaplanır. Alternatifler küçük değerden büyük değere doğru sıralanmaktadır.

$$\mathrm{Q_i} = \sum_{j-1}^{n} g_{ij} \; , \; i = 1,2, \dots, m \quad (16)$$

ACİL SERVİS SEÇİMİ UYGULAMASI (EMERGENCY SERVICE SELECTION APPLICATION)

Acil serviste hastaların şikâyetçi olduğu konular bir uzman ekip tarafından (1 Akademisyen, 1 doktor ve 1 hemşire) belirlenmiştir. İlgili uzman ekip bir araştırma kapsamında 1 yıldan fazla süredir dört acil serviste incelemeler yapmaktadır. Her bir uzman kendi alanında en az 10 yıllık bilgi ve deneyime sahiptir. Uzman ekip dört acil serviste incelemeler yaparken hastalarla yüz yüze görüşmeler gerçekleştirmektedir. Bu görüşmeler neticesinde hastaların acil serviste yoğun olarak belirttikleri şikayetler bu çalışma kapsamında incelenmiştir. Uzman ekip bu görüşmeler neticesinde beyin fırtınası yoluyla acil servisteki değer için kriterleri belirlemiştir. Ayrıca ilgili hastalar bu dört acil servis birbirine çok yakın olduğu için dört acil servis hakkında da bilgi sahibidir.

Uzmanların önem dereceleri sırasıyla 0.35, 0.4 ve 0.25 olarak incelenmiştir. Acil servisteki şikâyetlerin analizi süreci, analizi yapacak olan uzman grubun oluşturulması, analizde kullanılacak kriterlerin belirlenmesi, kriterlerin önem derecelerinin belirlenmesi ve dört alternatif acil servisin sıralanması aşamalarını kapsamaktadır. Uzman ekip oluşturulduktan sonra kriterlerin belirlenmesi aşamasına geçilmiştir. Uzman ekip acil servisteki şikayetleri 9 temel kriter olarak belirlemiştir. Bunlar; hastanenin temizliği ve sessizliği, güvenilir personel ve hizmet, ilk seferde doğru teşhis ve muayene, hastaların bilgilendirilmesi, hızlı ve doğru muayene, personele ihtiyaç anında ulaşabilmek, beklemelerin olmaması, ziyaret saatlerinin uygun olması, ilgili ve güler yüzlü personeldir. Kriterlerin önem dereceleri q seviyeli bulanık sayı kullanılarak üç uzman görüşü doğrultusunda belirlenmiştir. Dört alternatif acil servisin sıralaması için q seviyeli bulanık MAIRCA yöntemi kullanılmıştır. Ankara'da birbirine çok yakın bulunan devlet hastanelerinin dört acil servisi bu çalışma kapsamında incelenmiştir. Birbirine yakın olmaları aynı hastaların bu acil servislerden hizmet talep etmesini dolayısıyla dört acil servisle ilgili deneyimlere sahip olmasını sağlamıştır. Uzmanların görüşlerini belirtirken kullandığı dilsel değişkenler Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. *Dilsel değişken ve Q seviyeli bulanık sayı karşılıkları*

Çok düşük (ÇD)	(0.15, 0.99)
Düşük (D)	(0.2, 0.85)
Orta (O)	(0.5, 0.5)
Yüksek (Y)	(0.85, 0.85)
Çok yüksek (ÇY)	(0.99, 0.15)

Üç uzman, dokuz kriter için önem derecelerini belirten görüşlerini Tablo 2'deki gibi sunmuşlardır. Örneğin, K1 için uzman 1 orta, uzman 2 ve 3 yüksek dilsel terimini kullanmış ve birleştirilmesi neticesinde (0.786,0.276) bulanık sayısı elde edilmiştir. Tablo 3 uzman görüşlerinin birleştirilmesi neticesinde elde edilen kriter ağırlıklarını göstermektedir. Elde edilen sonuçlara göre güvenilir personel ve hizmet (K2) en önemli hasta değeri olarak belirlenmiştir. İkinci olarak hastaların bilgilendirilmesi (K4) ve üçüncü olarak hastanenin temizliği ve sessizliği (K1) en önemli hasta değeri olarak belirlenmiştir. Bir acil serviste yalın hizmet çalışmalarına başlanıldığı zaman ilk olarak iyileştirilmesi gereken noktaların bunlar olduğu belirlenmiştir. Kriter ağırlıkları belirlendikten sonra kriter temelli alternatifler için uzman görüşlerine başvurulmuş ve bu görüşler Tablo 4'te gösterilmiştir. Birleştirme operatörü kullanılarak uzman görüşleri birleştirilmiş ve Tablo 5'te sunulmuştur. Örneğin, alternatif 1'in kriter 1 açısından değerlendirmesi uzman 1 ve 3 için yüksek ve uzman 2 için orta dilsel terimleriyle belirlenmiştir. İlgili görüşler birleştirme operatörü kullanılarak birleştirilmiş ve (0.775,0.289) bulanık sayısı elde edilmiştir.

Tablo 2. *Uzman Görüşlerine Göre Kriterlerin Önem Dereceleri*

	K1	**K2**	**K3**	**K4**	**K5**	**K6**	**K7**	**K8**	**K9**
Uzman 1	O	Y	O	Y	O	O	D	D	D
Uzman 2	Y	ÇY	O	Y	O	O	D	D	O
Uzman 3	Y	Y	Y	Y	Y	O	D	D	D

Tablo 3. *Kriterlerin Önem Dereceleri*

K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
(0.786,0.276)	(0.952,0.178)	(0.660,0.398)	(0.850,0.200)	(0.660,0.398)	(0.500,0.500)	(0.200,0.850)	(0.200,0.850)	(0.384,0.687)

Tablo 4. *Uzman Görüşlerine Göre Kriter Temelli Alternatifler*

	U1				U2				U3			
	A1	A2	A3	A4	A1	A2	A3	A4	A1	A2	A3	A4
K1	Y	D	O	ÇY	O	D	O	ÇY	Y	O	Y	Y
K2	O	ÇD	ÇD	O	O	D	D	O	Y	ÇD	ÇD	Y
K3	Y	O	ÇD	Y	O	O	D	Y	Y	Y	ÇD	O
K4	O	D	Y	O	O	D	Y	O	Y	O	O	Y
K5	Y	D	Y	ÇY	O	D	O	ÇY	Y	O	Y	ÇY
K6	O	O	ÇY	O	D	D	O	D	Y	O	ÇY	O
K7	Y	ÇY	Y	Y	Y	ÇY	Y	Y	Y	ÇY	O	Y
K8	D	O	ÇD	Y	D	D	ÇD	Y	D	O	ÇD	Y
K9	ÇY	ÇY	O	O	O	O	D	D	Y	Y	O	O

Tablo 5. *Kriter Temelli Alternatifler*

	A1	A2	A3	A4
K1	(0.775,0.289)	(0.338,0.744)	(0.660,0.398)	(0.981,0.161)
K2	(0.660,0.398)	(0.174,0.931)	(0.174,0.931)	(0.660,0.398)
K3	(0.775,0.289)	(0.660,0.398)	(0.174,0.931)	(0.807,0.251)
K4	(0.660,0.398)	(0.338,0.744)	(0.807,0.251)	(0.660,0.398)
K5	(0.775,0.289)	(0.338,0.744)	(0.775,0.289)	(0.990,0.150)
K6	(0.630,0.492)	(0.431,0.618)	(0.960,0.243)	(0.431,0.618)
K7	(0.850,0.200)	(0.990,0.150)	(0.807,0.251)	(0.850,0.200)
K8	(0.200,0.850)	(0.431,0.618)	(0.150,0.990)	(0.850,0.200)
K9	(0.921,0.261)	(0.921,0.261)	(0.431,0.618)	(0.431,0.618)

Tablo 3'teki kriter ağırlıkları Tablo 5'teki değerler ile çarpılmış ve Tablo 6'daki kriter ağırlıkları temelli alternatiflerin değerleri hesaplanmıştır. Örneğin, K1'in önem derecesi (0.786,0.276) ve K1 temelli A1'in değeri (0.775,0.289) çarpılarak (0.609,0.354) değeri elde edilmiştir. Tablo 7 teorik derecelendirme matrisini göstermektedir. Eşitlik (3) ve (5) kullanılarak teorik derecelendirme matrisi elde edilmiştir. Tablo 8 gerçek derecelendirme matrisini göstermektedir. Eşitlik (6) ve (7) fayda ve maliyet kriterlerini dikkate alarak ve teorik derecelendirme matrisini kullanarak gerçek derecelendirme matrisini elde etmiştir. Tablo 9 boşluk matrisini sunmaktadır. Teorik derecelendirme matrisinden gerçek derecelendirme matrisi çıkarılmış ve boşluk matrisi elde edilmiştir. Örneğin K1 temelli A1 için (0.494,0.780) bulanık sayısından (0.535,0.725) bulanık sayısı çıkarılmış ve 0.050 değeri bulunmuştur. Alternatifler için tüm kriterler temelindeki değerler toplanmıştır. Örneğin, A1 için 0.050+0.006+0.072+0.039+0.088+0.041+0.038=0.334 olarak belirlenmiştir. Tablo 10'da her bir alternatifin değeri ve sıralaması gösterilmektedir. Bu sonuçlara göre acil servisler A1-A4-A3-A2 şeklinde sıralanmıştır. İncelenen 9 hasta şikâyeti ve önem derecelerinden yola çıkarak değerlendirilen dört alternatif arasından ilk sırada A1 acil servisi bulunmuştur. Hastaların bu dört acil servis arasında hizmet açısından en memnun olduğu acil servis A1 acil servisidir. Hastaların en düşük memnuniyet seviyesi ise A2 acil servisi olarak belirlenmiştir. Bu dört acil servisin özellikle sıralamada geride olan acil servislerin hastaların memnuniyet seviyesini arttırabilmeleri için öncelikle bu 9 kriterin iyileştirilmesine yönelik planlamalar yapması gerekmektedir. Bu çalışmada yalın hizmetin ilk aşaması olan değer kısmına odaklanılarak bir başlangıç planı sunulmuştur. Çalışmanın sonraki kısımlarına yalın hizmetin diğer adımlarıyla devam edilmesi gerekmektedir.

Tablo 6. *Kriter Ağırlıkları Temelli Alternatiflerin Değerleri*

	A1	A2	A3	A4
K1	(0.609,0.354)	(0.266,0.752)	(0.519,0.435)	(0.771,0.293)
K2	(0.628,0.409)	(0.165,0.932)	(0.165,0.932)	(0.628,0.409)
K3	(0.511,0.440)	(0.435,0.496)	(0.114,0.936)	(0.533,0.427)
K4	(0.561,0.413)	(0.287,0.747)	(0.686,0.288)	(0.561,0.413)
K5	(0.511,0.440)	(0.223,0.766)	(0.511,0.440)	(0.653,0.404)
K6	(0.315,0.612)	(0.215,0.692)	(0.480,0.516)	(0.215,0.692)
K7	(0.170,0.851)	(0.198,0.851)	(0.161,0.853)	(0.170,0.851)
K8	(0.040,0.948)	(0.086,0.890)	(0.030,0.996)	(0.170,0.851)
K9	(0.354,0.696)	(0.354,0.696)	(0.165,0.785)	(0.165,0.785)

Tablo 7. *Teorik Derecelendirme Matrisi*

	A1	A2	A3	A4
K1	(0.535,0.725)	(0.535,0.725)	(0.535,0.725)	(0.535,0.725)
K2	(0.731,0.650)	(0.731,0.650)	(0.731,0.650)	(0.731,0.650)
K3	(0.433,0.794)	(0.433,0.794)	(0.433,0.794)	(0.433,0.794)
K4	(0.596,0.669)	(0.596,0.669)	(0.596,0.669)	(0.596,0.669)
K5	(0.433,0.794)	(0.433,0.794)	(0.433,0.794)	(0.433,0.794)
K6	(0.320,0.841)	(0.320,0.841)	(0.320,0.841)	(0.320,0.841)
K7	(0.126,0.960)	(0.126,0.960)	(0.126,0.960)	(0.126,0.960)
K8	(0.126,0.960)	(0.126,0.960)	(0.126,0.960)	(0.126,0.960)
K9	(0.244,0.911)	(0.244,0.911)	(0.244,0.911)	(0.244,0.911)

Tablo 8. *Gerçek Derecelendirme Matrisi*

	A1	A2	A3	A4
K1	(0.494,0.780)	(0.000,1.000)	(0.455,0.825)	(0.535,0.725)
K2	(0.731,0.650)	(0.000,1.000)	(0.000,1.000)	(0.731,0.650)
K3	(0.428,0.801)	(0.408,0.825)	(0.000,1.000)	(0.433,0.794)
K4	(0.538,0.751)	(0.000,1.000)	(0.596,0.669)	(0.538,0.751)
K5	(0.398,0.837)	(0.000,1.000)	(0.398,0.837)	(0.433,0.794)
K6	(0.236,0.933)	(0.000,1.000)	(0.320,0.841)	(0.000,1.000)
K7	(0.078,0.991)	(0.126,0.960)	(0.000,1.000)	(0.078,0.991)
K8	(0.082,0.989)	(0.107,0.975)	(0.000,1.000)	(0.126,0.960)
K9	(0.244,0.911)	(0.244,0.911)	(0.000,1.000)	(0.000,1.000)

Tablo 9. *Boşluk Matrisi*

	A1	A2	A3	A4
K1	0,050	0,443	0,091	0,000
K2	0,000	0,600	0,600	0,000
K3	0,006	0,028	0,355	0,000
K4	0,072	0,499	0,000	0,072
K5	0,039	0,355	0,039	0,000
K6	0,088	0,264	0,000	0,264
K7	0,041	0,000	0,101	0,041
K8	0,038	0,017	0,101	0,000

K9	0,000	0,000	0,196	0,196

Tablo 10. *Alternatiflerin Değeri ve Sıralaması*

	A1	**A2**	**A3**	**A4**
Değer	0.334	2.208	1.485	0.574
Sıralama	1	4	3	2

SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Yalın üretim teknikleri israfı ortadan kaldırılarak verimliliğin arttırılmasını amaçlayan bir tekniktir. İlk olarak Japonya'da otomotiv sanayide uygulanmaya başlamasıyla birlikte daha sonra üretim sektörünün birçok alanında başarıyla uygulanmıştır. Son yıllarda ise yalın üretim prensiplerinin hizmet sektöründe uygulanabilirliği üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Hizmet sektörünün sağlık alanında yalın üretim prensipleri başarıyla uygulanmaktadır. Böylece hastanelerde israf azaltılarak maliyet düşmesi ve kârın artması sağlanmaktadır. Ayrıca daha verimli çalışma ortamı sağlandığı için hastanedeki hasta ve hasta yakınları verilen hizmetten daha fazla memnun olmaktadır. Böylece müşteri memnuniyeti de sağlanmaktadır. Bu çalışmada, bir acil servisin yalın üretim prensipleri kapsamında hasta şikâyetlerini incelenmiştir. Q seviyeli bulanık sayı kullanılarak uzman görüşleri doğrultusunda kriterlerin önem dereceleri belirlenmiştir. Daha sonra q seviyeli bulanık MAIRCA yöntemi incelenmiş ve dört acil servisin sıralaması için kullanılmıştır.

REFERENCES

[1] Ö. Efe, Yalın Hizmet/Değer Akışı Haritalama:Bir Acil Serviste Uygulanabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı*, Konya, 2011.

[2] Ö. Efe, O. Engin, Yalın Hizmet-Değer Akış Haritalama ve Bir Acil Serviste Uygulama, *Verimlilik Dergisi*. 4 (2012), 79-107.

[3] T. Alkan, S. S. Durduran, Analysis of House Selection Process with AHP Based TOPSIS Method, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*. 2(2) (2020), 12-21. doi:10.47112/neufmbd.2020.2.

[4] S. Ş. Kaya, K. Alaykıran, Failure Mode and Effects Analysis and an Application in the Casting, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*. 1(2) (2019), 76-89.

[5] 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(1) (2019), 20-31.

[6] C. S. Kim, D. A. Spahlinger, J. M. Kin, J. E. Billi, Lean Health Care: What can hospitals learn from a world-class automaker?, *Journal of Hospital Medicine*. 1 (2006), 191-199. doi: 10.1002/jhm.68.

[7] T. Joosten, I. Bongers, R. Janssen, Application of lean thinking to health care: Issues and observations, *International Journal for Quality in Health Care*. 21(5) (2009), 341- 347. doi: 10.1093/intqhc/mzp036.

[8] E. W. Dickson, Z. Anguelov, D. Vetterick, A. Eller, S. Singh, Use of Lean in the Emergency Department: A Case Series of 4 Hospitals, *American College of Emergency Physicians*. 54(4) (2009a), 504-510. doi:10.1016/j.annemergmed.2009.03.024.

[9] E. W. Dickson, S. Singh, D. S. Cheung, C. C. Wyatt, A. S. Nugent, Application of Lean Manufacturing Tecniques in the Emergency Department, *The Journal of Emergency Medicine*. 37(2) (2009b), 177–182. doi: 10.1016/j.jemermed.2007.11.108.

[10] G. Büyüközkan, G. Çifçi, S. Güleryüz, Strategic analysis of healthcare service quality using fuzzy AHP methodology, *Expert Systems with Applications*, 38 (2011), 9407–9424. doi:10.1016/j.eswa.2011.01.103.

[11] C.C. Ho, Construct factor evaluation model of Health Management Center selected by customers with Fuzzy Analytic Hierarchy Process, *Expert Systems with Applications*. 39 (2012), 954–959. doi: 10.1016/j.eswa.2011.07.094.

[12] B. A. White, J. M. Baron, A. S. Dighe, C. A. Camargo Jr, D. F. Brown, Applying Lean methodologies reduces ED laboratory turnaround times, *The American Journal of Emergency Medicine*. 33(11) (2015), 1572-1576. doi: 10.1016/j.ajem.2015.06.013.

[13] N. Allaudeen, A. Vashi, J. S. Breckenridge, F. Haji-Sheikhi, S. Wagner, K. A. Posley, S. M. Asch, Using lean management to reduce emergency department length of stay for medicine admissions, *Quality Management in Health Care*. 26(2) (2017), 91-96. doi: 10.1097/QMH.0000000000000132.

[14] A. Al Owad, P. Samaranayake, A. Karim, K. B. Ahsan, An integrated lean methodology for improving patient flow in an emergency department–case study of a Saudi Arabian hospital, *Production Planning & Control*. 29(13) (2018), 1058-1081. doi: 10.1080/09537287.2018.1511870.

[15] M. Shakoor, M. R. Qureshi, S. Jaber, Applying Management Principles of Lean Manufacturing for Enhancing Efficiency and Effectiveness of Emergency Department Rooms, *Jordan Journal of Mechanical & Industrial Engineering*. 13(4) (2019), 291- 299.

[16] C. Verbano, M. Crema, Applying lean management to reduce radiology turnaround times for emergency department, *The International Journal of Health Planning and Management*. 34(4) (2019), e1711-e1722. doi: 10.1002/hpm.2884.

[17] B. Maliszewski, M. Whalen, C. Lindauer, K. Williams, H. Gardner, D. L. Baptiste, Quality improvement in the emergency department: a project to reduce door-to-electrocardiography times for patients presenting with chest pain, *Journal of Emergency Nursing*. 46(4) (2020), 497-504. doi: 10.1016/j.jen.2020.03.004.

[18] A. Daly, S. P. Teeling, M. Ward, M. McNamara, C. Robinson, The use of lean six sigma for improving availability of and access to emergency department data to facilitate patient flow, *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 18(21) (2021), 11030. doi: 10.3390/ijerph182111030.

[19] D. Tlapa, G. Tortorella, F. Fogliatto, M. Kumar, A. Mac Cawley, R. Vassolo, Y. Baez-Lopez, Effects of lean interventions supported by digital technologies on healthcare services: a systematic review, *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 19(15) (2022), 9018. doi: 10.3390/ijerph19159018.

[20] H. Leite, The role of lean in healthcare during COVID-19 pandemic, *International Journal of Quality & Reliability Management*. 40(6) (2023), 1389-1411. doi: 10.1108/IJQRM-10-2021-0353.

[21] S. Moffatt, C. Garry, H. McCann, S.P. Teeling, M. Ward, M. McNamara, The use of lean six sigma methodology in the reduction of patient length of stay following anterior cruciate ligament reconstruction surgery, *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 19(3) (2022), 1588. doi: 10.3390/ijerph19031588.

[22] A. Jailani Harahap, C. Ginting, A. Nasution, A. Amansyah, The Effect of Lean Approach on Hospital Service Quality and Inpatient Satisfaction, *Unnes Journal of Public Health*. 12(1) (2023), 12-20. doi: 10.15294/ujph.v12i1.57692.

[23] A. Vanichchinchai, Relationships among lean, service quality expectation and performance in hospitals, *International Journal of Lean Six Sigma*. 13(2) (2022), 457-473. doi: 10.1108/IJLSS-11-2020-0210.

[24] E.P. Jesudason, Pushing sustainability up the surgical agenda: practical steps towards sustainable orthopaedic care, *Orthopaedics and Trauma*. 36(5) (2022), 274-278. doi: 10.1016/j.mporth.2022.07.004.

[25] R. R. Yager, Generalized orthopair fuzzy sets, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*. 25(5) (2016), 1222-1230. doi: 10.1109/TFUZZ.2016.2604005.

[26] R. Wang, Y. Li, A novel approach for green supplier selection under a q-rung orthopair fuzzy environment, *Symmetry*. 10(12) (2018), 687. doi: 10.3390/sym10120687.

[27] G. Wei, H. Gao, Y. Wei, Some q-rung orthopair fuzzy Heronian mean operators in multiple attribute decision making. *International Journal of Intelligent Systems*, 33(7) (2018), 1426-1458. doi: 10.1002/int.21985.

[28] D. S. Pamucar, S. P. Tarle, T. Parezanovic, New Hybrid Multi-Criteria Decision-Making DEMATEL-MAIRCA Model: Sustainable Selection of a Location for the Development of Multimodal Logistics Centre, *Economic Research- Ekonomska Istraživanja*. 31(1) (2018), 1641-1665. doi:10.1080/1331677X.2018.1506706.

NEÜ PRESS

Necmettin Erbakan Üniversitesi
Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi
Journal of Science and Engineering (NEJSE)
DOI: 10.47112/neufmbd.2023.27

Cilt: 5 Sayı:2 Yıl: 2023 | Derleme / Review | E-ISSN: 2667- 7989

Günümüzde Taşınmaz Değerleme Yöntemlerinin Hukuki ve Ekonomik Açıdan İncelenmesi

Ömer YURDAKUL [1] Ali SAKLAN [2] Süleyman Savaş DURDURAN [3]

[1] Necmettin Erbakan University, Department of Internal Auditing, Konya, Türkiye, oyurdakul@erbakan.edu.tr *(Sorumlu Yazar/ Corresponding Author)*
[2] Necmettin Erbakan University, Department of Internal Auditing, Konya, Türkiye, asaklan@erbakan.edu.tr
[3] Necmettin Erbakan University, Faculty of Engineering, Department of Geomatics Engineering, Konya, Türkiye, ssdurduran@erbakan.edu.tr

Makale Bilgileri

Makale Geçmişi
Geliş: 30.11.2023
Kabul: 30.12.2023
Yayın: 31.12.2023

Anahtar Kelimeler:
Arazi yönetimi,
Taşınmaz değerleme,
CBS,
Tapu harcı,
Emlak vergisi.

ÖZ

Türkiye'de ve Dünya'da taşınmaz (gayrimenkul) satışlarının ekonomideki yeri ve önemi artmaktadır. Türkiye'de her yıl iki milyonun üzerinde gayrimenkul satış işlemleri tapu müdürlüklerince gerçekleştirilmektedir. Bu satışlardan elde edilen vergiler bütçede önemli bir paya sahiptir. Bu aşamada taşınmazların değerinin nasıl belirlendiği sorusu akla gelmektedir. Taşınmaz değerleme, belirli bir zaman periyodunda piyasa koşullarına göre bir taşınmazın değerini etkileyen özelliklerinin dikkate alınarak, değer tahmini yapılması şeklinde tanımlanmaktadır. Taşınmaz değerleme çalışmalarına ilişkin çok farklı yöntemler ortaya konulmuştur. Taşınmaz değerleme yöntemlerinin günümüzde hukuki ve ekonomik açıdan incelenmesi, gayrimenkul sektöründe önemli bir konudur. Taşınmaz değerleme yöntemlerinin doğru bir şekilde uygulanması ile tüm taşınmaz kullanıcıları için adil bir ortam oluşturulabilir. Bu durum, gayrimenkul sektöründe güvenilirlik ve şeffaflık açısından büyük önem taşır. Ayrıca, yasal düzenlemelere uygunluk ve ekonomik koşulların göz önünde bulundurulması, piyasa koşullarına daha uygun değerleme sonuçları elde edilmesine yardımcı olur. Taşınmaz değerleme çalışmalarından elde edilen veriler yardımıyla Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yazılımları sayesinde mekânsal ve istatistiksel analizler de yapılabilmektedir. Bu çalışmada taşınmaz değerleme yöntemlerine ilişkin literatür taraması yapılarak, yöntemlerin hukuki ve ekonomik açıdan genel bir değerlendirilmesi ortaya konulmuştur. Çalışma ile mevcut hukuki düzenlemelerin değerleme süreçlerine etkisi ve ekonomik faktörlerin değerleme modellerine olan yansımalarını da ele alınmıştır. Aynı zamanda taşınmaz değerleme kullanıcılarına ilişkin bir perspektif sunulmaya çalışılmış ve bu sayede literatüre bir katkı sunulmuştur.

Examination of Today's Real Estate Valuation Methods from Legal and Economic Perspectives

Article Info

Article History
Received: 30.11.2023
Accepted: 30.12.2023
Published: 31.12.2023

Keywords:
Land management,
Real estate valuation,
GIS,
Title deed fee,
Property tax.

ABSTRACT

The place and importance of real estate sales in the economy are increasing in Türkiye and in the world. More than two million real estate sales transactions are carried out by land registry offices every year in Türkiye. Taxes from these sales have a significant share in the budget. At this stage, the question of how the value of real estate is determined comes to mind. Real estate valuation is defined as estimating the value of a real estate according to market conditions over a determined period, considering the characteristics that affect its value. Many different methods have been put forward for real estate valuation studies. Today, examining real estate valuation methods from a legal and economic perspective is an important issue in the real estate sector. By correctly applying real estate valuation methods, a fair environment can be created for all real estate users. This is of great importance in terms of reliability and transparency in the real estate sector. Additionally, compliance with legal regulations and consideration of economic conditions helps to obtain valuation results that are more appropriate to market conditions. With the help of data obtained from real estate valuation studies, spatial and statistical analyzes can be made using Geographic Information Systems (GIS) software. In this study, a literature review on real estate valuation methods was conducted and a general evaluation of the methods from a legal and economic perspective was presented. The study also discusses the effects of existing legal regulations on valuation processes and the reflections of economic factors on valuation models. At the same time, a perspective on real estate valuation users has been tried to be presented and thus a contribution to the literature has been made.

Atıf/Citation: Yurdakul, Ö.; Saklan, A. & Durduran, S.S. (2023). Examination of Today's Real Estate Valuation Methods from Legal and Economic Perspectives, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, *5*(2), 299-308. https://doi.org/10.47112/neufmbd.2023.27

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

INTRODUCTION

As the place of real estate sales in the economy increases in Türkiye and in the world, the concept of real estate determination has begun to be discussed more [1]. Real estate valuation is the estimation of value by considering the features that affect the value of a real estate according to market conditions in a certain period of time [2]. Today, many valuation methods such as imputed method, nominal valuation, fuzzy logic, multiple regression and artificial neural networks are used in real estate valuation processes [3, 4]. With the completion of cadastral works in Türkiye, all transactions regarding real estate have started to be recorded and recorded in the land registry [5]. The development of the cities has been revealed by determining the areas opened for new development in the cities that are growing with the increasing population, with satellite images [6]. Nowadays, with the significant development of information technologies and application areas, the use of GIS software in real estate valuation has become widespread [7]. In real estate valuation methods, databases related to real estate are created. The role of GIS in real estate valuation has increased due to the predominance of spatial information in these databases [8]. In this context, collecting, querying, analyzing and presenting data regarding real estate to certain standards can be achieved by using GIS software that is widely used today [9].

More than two million real estate sales transactions are carried out by land registry offices every year in Türkiye. It has been declared that 2,125,110,018.79 TL of title deed fee income was obtained from the title deed transactions carried out by the General Directorate of Land Registry and Cadastre (GDLRC) in 2022 [10]. Due to legal gaps in title deed transactions, especially in the buying and selling process, a real estate valuation report is not required and the real estate declaration value is requested from the district municipalities. Transactions are carried out according to real estate declaration values, with this value being the lower limit. In addition, real estate valuation reports are used in all kinds of projects and planning studies regarding real estate. For this reason, real estate appraisal is carried out or is carried out by many public institutions and organizations in Türkiye. Factors such as the current status of real estate, its intended use, environmental qualities, social and economic features, infrastructure qualities, zoning status and legal restrictions are important factors in determining real estate valuation methods. The real estate valuation method can also be determined according to the purpose of use of the real estate or spatial projects. More than one method can be used simultaneously. In this study, a literature review on real estate valuation methods was conducted and a general evaluation of the methods from a legal and economic perspective was presented. At the same time, a perspective on real estate valuation users has been tried to be presented and thus a contribution to the scientific literature has been made.

MATERIALS AND METHODS

In the study, a literature review was made regarding materials and methods, and as a result, the real estate valuation methods encountered in the literature are given below. The methods in question are shown in Figure 1 [3, 4, 11, 12, 13].

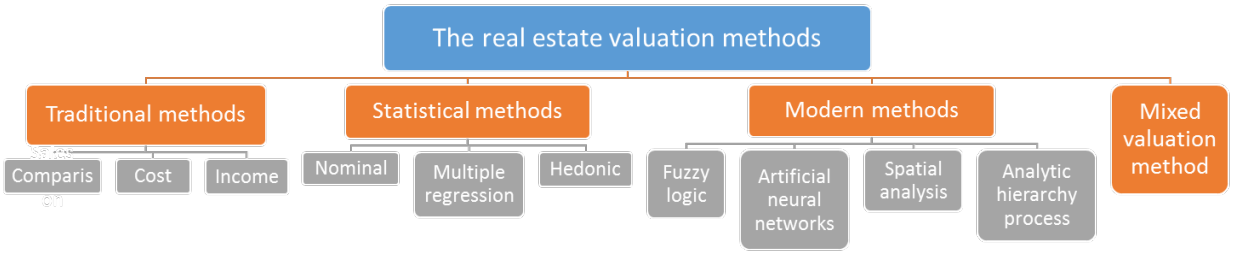


Figure 1. *The real estate valuation methods*

Traditional Methods

As traditional methods in real estate valuation; There are sales comparison method, cost method and income method [3, 12].

Sales Comparison Method

The precedent method is called the sales comparison method. It is applied to real estate that does not generate income and has no structure on it, in cases where the real market value of similar real estate is reached. In this method, it is very important to give the correct purchase and sale values of similar properties in determining the final value [12]. To use this method, there must be similar properties in the area to be compared. It is also important that it reflects real market values. To make a comparison, the properties of the immovable property taken as a precedent and the properties of the immovable property whose value will be determined must be similar. The equivalent of a real estate in a residential area must be chosen from the residential zone, and a real estate in an industrial zone must be chosen from the industrial zone. If the land is built, it is important to determine information such as parcel dimensions, zoning plan, plan values, location in the city, transportation facilities, proximity to cultural facilities, type and style of the building, design, age and current status, etc. [3].

Cost Method

The cost method is based on recalculating the cost of a real estate with a building on it, according to current conditions, during the reconstruction of the building. The method is also known as the contractor method and is a method accepted by different countries. While the land value is determined according to the sales comparison method by comparing similar real estate, the cost value of the real estate is found by subtracting the depreciation value from the cost of reconstruction of the building. The cost method is used in the valuation of immovable properties with buildings on them, such as factories, commercial buildings, industrial sites, hotels and residences. Method; it is used in the valuation of immovable properties that are not frequently bought and sold under market conditions, when there is no comparable sales information for the immovable properties, when the immovable property is not an income-generating property type, in the valuation studies of unfinished projects, when there are additions and renovations to the immovable property, and when the land and structure of the immovable property must be evaluated separately [3, 12].

Income Method

It is a method used in the valuation of income-generating real estate. In this method, the possible income stream for an investor or a user in the remaining economic life of a real estate is considered. In order to use this method, it is important to determine the gross income and expense activities of any real estate, estimate the net income and expense, and determine the direct and income capitalization rate as a result. Annual net income is calculated and value is assessed based on the use of the real estate, its regional characteristics and economic conditions. It is generally applied for commercial real estate. The income method is preferred in cases where the economic life of the building is not long and there are not enough similar buildings [12].

Statistical Methods

As statistical (stochastic) methods in real estate valuation; There are the nominal method, multiple regression method and hedonic method [4]. In real estate valuation with statistical methods, real estate values are estimated with the help of statistical or mathematical models by analyzing the numerical or proportional connections between the value of the real estate and the real estate criteria [14].

Nominal Method

The nominal method is based on scoring the qualities of real estate. The value to be taken into consideration in real estate value distribution may be fair value or a parametric value obtained by scoring. In this method, factors affecting the value of real estate are formulated. The largest and smallest points are determined and the value coefficient of each property is found. With the value coefficients obtained, the relative situation of the real estate in terms of their values can be determined and these coefficients can be converted to market values [4]. Since such a valuation has a different approach than the known classical valuation methods, it is called nominal valuation. Nominal value is an indicative value that represents an asset. However, it should not be forgotten that the nominal value is a function that requires many different parameters to be considered together and evaluated as a data set. In this respect, basic parameters that may affect the real estate value need

to be determined. Among the parameters in question, the most important criterion that can affect the unit value is known as the location value [15, 16].

Multiple Regression Method

In regression analysis, statistical relationships between variables are examined. In multiple regression analysis, more than one independent variable is used. These variables come together and can affect both another variable and each other. Probabilistic or random variables are used in statistical procedures. In the regression method for real estate, the factors affecting the real estate must be defined and their impact amounts must be determined. The regression method is a statistical method that allows the evaluation of real estate and factors affecting real estate together. In order to use multiple regression analysis in real estate valuation, a database containing data such as real estate properties and purchase-sale information must first be created. Creating a database increases the number of factors affecting real estate values and thus provides more accurate values [4].

Hedonic Method

While the word hedonic means satisfaction with service and consumption, hedonic value is the price a person is willing to pay for the benefit he/she receives. Based on the hedonic method, an evaluation is made by taking into account the benefits obtained from them rather than the goods or services purchased. It is mostly used to determine the factors affecting the value of residential real estate. In this method, it is assumed that each factor of the house influences the value of the house, and this effect is tried to be calculated. It is very important in this method to create a housing price index based on the changes in the housing area, such as financial stability being directly or indirectly affected by the changes in the housing sector, and monitoring the changes in the housing area in terms of price balance [4].

Modern Methods

As modern methods in real estate valuation; There are fuzzy logic method, artificial neural networks method, spatial analysis method and analytic hierarchy process method [4, 17].

Fuzzy Logic Method

Fuzzy logic (FL) can be defined as software that processes the data obtained by taking advantage of people's knowledge and experience with formulated diagrams and obtains result values with the help of certain mathematical algorithms depending on each formula it creates. This software needs fuzzy logic when classical logic cannot meet the needs in solving problems. FL is used to mathematically model verbal expressions defined by an expert user as a decision-making mechanism within an area with unknown boundaries. General features of the FL [4];

- It does not necessarily require a mathematical model in its implementation.
- It allows the modeling of non-linear functions.
- Expert users can design a model or system with their knowledge and experience.
- It is a method close to the human thought system.
- The software is simple and the system can be installed more economically.

can be listed. In recent years, with the development of computer technologies and artificial intelligence techniques, the use of FL in real estate valuation has been encountered. Evaluation can be made in line with the data sets entered the program.

Artificial Neural Networks Method

Artificial neural networks (ANN) are computer software adapted to the biological neural structure of the human brain. It can generate new information using previously loaded and classified information. ANN is a set of data-based systems created by constructing artificial nerve cells in layers. ANN aims to solve complex problems by taking advantage of the human brain's abilities such as learning and making quick decisions under

different conditions. In recent years, the ANN method has begun to be used in real estate valuation. In order for the ANN method to be used in real estate valuation, the parameters must be analyzed correctly and large data sets must be selected. General features of ANN; it can be counted as being a method developed by taking into account the neural networks of the brain, not having a linear character, and being able to adapt, learn and generalize. The most important factor here is that healthy and accurate data sets are entered into the program [4, 18].

Spatial Analysis Method

The spatial analysis method is a set of software that enables data to be presented geographically and presents users with meaningful and informative spatial and verbal data on maps. General features of the method [4];

- The software integrates spatial and verbal information.
- It must have an up-to-date and integrated database.
- It provides savings in terms of time and cost by obtaining some data from maps.

can be listed. The development of GIS software has popularized the use of spatial analysis method in real estate valuation.

Analytic Hierarchy Process Method

The analytic hierarchy process (AHP) is a method first used by Myers and Alpert in 1968 and developed by Thomas L. Saaty in 1977. It is a method used to solve multi-criteria decision-making application problems. The AHP method, which evaluates qualitative and quantitative variables together, is a mathematical method that also takes into account the priorities of the users in the decision-making phase. It was developed to be used in cases where the number of criteria is high [19, 20, 21]. A hierarchical structure is created to solve problems. Binary comparison matrices are at the core of this method. Binary comparison matrices are used to determine the importance of the criteria relative to each other. The features of this method can be listed as follows [4];

- The method is easy to apply.
- Thoughts and verbal data are converted into numerical data using scales.
- Using binary comparison matrices, the importance levels of the criteria relative to each other are found with mathematical algorithms.

Mixed Valuation Method

If the immovable to be valued has different characteristics, more than one method is used together. For example, if there are any structures or additional facilities such as trees, wells, etc. which have economic meaning on an immovable property which is land, their valuation should be made. In the valuation process of such an immovable, the parts carrying economic value should be evaluated separately and the sum of the amounts to be obtained should be taken as basis. Especially in the valuation of land with buildings, the land should be evaluated separately and the building on it should be evaluated separately. In this case, the comparison method can be used for the valuation of the land, the cost method for the valuation of the building or the income method if it is a commercial building [22].

RESULTS

In order to analyze the valuation of immovable property, two concepts should be reviewed first. These concepts are immovable property and valuation. In legal terms, immovable property is a subject specific to property law. When it is analyzed together with movable property; if something can be moved from one location to another location without damaging the original of the thing, that thing is movable; if it cannot be moved, that thing is immovable [23]. 4721 numbered Turkish Civil Code (TCC) (Official Gazette (OG) Date: 08.12.2001, RG No: 24607) According to Article 704; the subject of immovable property includes lands, independent sections (registered in the condominium registry), independent and permanent rights (registered in separate

pages in the land registry) (Article 704 of the TCC).

Another important issue in the evaluation of immovable property is the concept of ownership. The right to property is included in Article 35 of the 1982 Constitution (OG Date: 09.11.1982, OG No: 17863). According to the text of the article, it is stated that everyone has the right to property, this right can only be restricted by law for the purpose of public interest and this right cannot be used contrary to the public interest (Article 35 of the 1982 Constitution). Article 683 of the TCC states that the person who has the right of ownership has the right to use, dispose and benefit from the thing in question within the legal order (Article 683 of the TCC). When we evaluate this point in the context of immovable property; property includes all legal dispositions such as the actual use of the immovable property, making changes to it, transferring it, and establishing rights on it, if it remains within the legal order [24].

Another important issue in immovable property valuation is the concept of valuation. Valuation is defined as appraising, determining the value of a property in the dictionary meaning. [25]. When analyzed from both legal and economic aspects, valuation can be expressed as a valuation activity. In this context, valuation can be defined as determining the value of a good, an immovable or a service by using scientific methods [26]. In other words, valuation is the free and objective determination of the possible values of the rights and benefits of a real estate or asset at a certain date [14].

After reviewing the concepts of real estate and valuation, it would be appropriate to examine the combination of these two concepts, real estate valuation. Real estate valuation is the process of determining the real values of real estates with the help of typical characteristics of real estates and statistical information [27]. Real estate valuation is a relative concept; the subject is evaluated in terms of many factors such as the intended use of the real estate, conditions in the market, expected benefit, interest. At this point, there is no objective mathematical technique in real estate valuation [28].

Real estate valuation has become an institution used in many different areas. At this point, it has found its place in many different legislations. This situation can be determined by examples from the relevant legislation. In the 11th article of the Expropriation Law (EL) No. 2942 (OG Date: 08.11.1983, Official Gazette No: 18215) explains the principles on which the expropriation value of the immovable property to be expropriated will be determined, and how the valuation will be carried out in determining the price of the relevant immovable property (EL Art. 11). In Article 17 of the Zoning Law No. 3194 (OG Date: 09.05.1985, Official Gazette No: 18749), the real estate valuation institution is used by assigning the duty of municipalities and governorships to sell the parts remaining after expropriation by making a price assessment (Law Article 17). It is also seen that real estate valuation is used in taxation, which is a sign of the state's sovereignty. In this context, the Tax Procedure Law No. 213 (TPL) (OG Date: 10.01.1961, OG No: 10705), the Law No. 6183 on the Collection Procedure of Public Receivables (CPPR) (OG Date: 28.07.1953, OG No: 8469) and No. 1319. The Real Estate Tax Law (RETL) (OG Date: 11.08.1970, OG No: 13576) and the Fees Law (FL) No. 492 (OG Date: 17.07.1964, OG No: 11756) may be mentioned. According to RETL, it has been stated that appraisal commissions (Article 72) and census commissions (Article 79) will evaluate real estate and make determinations on issues within the scope of real estate valuation. Again, in articles 90 and 91 of CPPR; The sales commissions created will deal with the real estate valuation methodology during the valuation and sales process of the seized real estate. According to Article 29 of the RETL; in determining the tax value, it is explained how to reach the unit value for lands and buildings in line with the provisions included in the TPL. According to Articles 60 and 61 of the Civil Code and tariff no. (4), fees are accrued on a relative or fixed basis based on value in land registry and cadastre transactions. In addition, Article 18-B of the Law on Privatization Practices No. 4046 (OG Date: 27.11.1994, OG No: 22124). In the article, it has been stated that a value determination commission will be established for the thing subject to privatization and the evaluation will be made through the established commission. Finally, as an example, the Capital Markets Law (CML) No. 6362 (OG Date: 30.12.2012, Official Gazette No: 28513) and its sub-regulations can be mentioned. In the CML and its sub-regulations communiqués (Communiqué: III-62.3), real estate appraisal institutions, their authorization and activities, and information about real estate appraisers are explained.

As can be seen in the legislative infrastructure regarding real estate valuation; Real estate valuation finds its place in many different areas and is important. When the issue is evaluated in an economic context; It comes to the fore in many different areas, from taxation to the process that forms the basis of registration in the land registry, from the capital market to lending and banking (getting a loan with collateral), to insurance, expropriation and privatization [29, 30]. In this respect, failure to evaluate real estate in a realistic manner brings with it many different economic and sociological problems [31].

In order to evaluate real estate valuation in an economic context and understand its importance, it will be useful to evaluate the subject by giving examples of some numerical data. The highest share of municipal revenues is undoubtedly property tax revenue. Examples can be given from many different municipalities in Türkiye. Since the scope is very broad, if we only give examples from the central three district municipalities of Konya Province in the study, it can be understood how important real estate valuation is in the context of property tax. According to the 2022 Konya/Meram Municipality activity report, the total tax collection of the Municipality is seen as 79,390,577.11-TL, and within this collection, building/land and land tax is seen as 76,717,007.04-TL [32]. Again, according to Konya/Selçuklu Municipality 2022 activity report; While the total net income of the municipality is seen as 1,329,509,644.20-TL, 152,843,855.59-TL of this income comes from building/land and land taxes [33]. Finally, according to the 2022 activity report of Konya/Karatay Municipality, which is the other central district, the actual tax revenue is seen as 144,960,155.85-TL, and it is stated that the share of tax revenue in the total collection is 10.84% [34]. Even though tax revenues are not given under a separate subheading in the activity report, it can be said that approximately 70% of the tax revenues are from building/land and plot taxes. Another economic data for real estate valuation is undoubtedly title deed fees. According to GDLRC's 2022 administrative activity report; the title deed fees for 2022 are seen as 2,125,110,018.79 TL [10]. Another important issue for real estate valuation is the share of the construction sector in total revenue. According to Turkish Statistical Institute 2022 gross domestic product data according to economic activity branches (A10 level); 112,081,870-TL (.4.4% share in gross domestic product) in the I. Quarter (January-February-March), II. 185,205,029-TL in the quarter (April-May-June) (5.4% share in gross domestic product), III. 194,643,378-TL (4.6% share in gross domestic product) in the quarter (July-August-September) and IV. In the quarter (October-November-December) it appears to be 240,985,652-TL (5.0% share in gross domestic product) [35]. Finally, it would be useful to evaluate the issue in terms of housing loans with banks. According to the 2022 million-TL basis data of the Banks Association of Türkiye; housing loan 285,614-TL (Million TL) in the I. Quarter (January-February-March) of 2022 (Share in total loan: 38%), II. 318,815-TL (Million TL) in the Quarter (April-May-June) (Share in Total Credit: 38%), III. 325,840-TL (Million TL) in the Quarter (July-August-September) (Share in Total Credit: 37%), IV. In the quarter (October-November-December) 330,708-TL (Million TL) (Share in Total Credit: 34%) is seen [36]. As can be seen in the examples given; Real estate and its income in terms of its trademark are extremely important issues within the market mechanism. In this context, it can be said that the valuation of real estate has an equally important position.

When the issue is evaluated both in the legal and economic context, real estate valuation; It is seen that it has become one of the dominant factors that must be considered in the purchase and sale transactions to be carried out by activating the market mechanism in clearly revealing the values of both state-owned immovable properties and privately owned immovable properties. At this point, it is essential to provide a more solid legal basis for real estate valuation, which concerns many individuals and legal entities in legal and economic terms, and to establish uniformity and a certain standard in the legislation.

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

In this study, real estate valuation methods encountered in the literature and practice are given and a general evaluation of these methods in legal and economic terms is made. Real estate valuation has an important place in human life in legal and economic fields. Public institutions and organizations, companies and people have legal and economic connections with each other through real estate. With the increase in the share of tax revenues from real estate sales in the treasury in Türkiye, real estate valuation has started to gain great importance. However, its institutional scientific infrastructure has not yet been established. For this reason,

encountering different valuation results for the same real estate in applications such as purchase-sale, expropriation, property tax, banking, etc. raises legal and economic problems. Valuation must be done accurately and reliably, taking into account all the features of a real estate.

It can be seen from the evaluations above that revenues related to real estate have a high rate in both treasury revenues and local administrations. For this purpose, it is understood that the implementation of real estate valuation in a way that reflects current market values and is based on scientific foundations is of extremely high importance for the country's economy.

At the same time, real estate valuation constitutes one of the most important subcomponents of land management. In real estate valuation processes, the land should be examined as a whole, considering all its qualities in terms of sustainable land management, and its social, legal and economic aspects should also be taken into account. It will be beneficial to establish real estate valuation standards through studies to be carried out within this framework and to ensure uniformity in the legislation by providing a more solid-based legal infrastructure.

REFERENCES

[1] I. Cheloti, I. M. Mooya, Valuation Problems in Developing Countries: A New Perspective, *Land*. 10(12), 1352. doi:10.3390/land10121352.

[2] M. Girgenç, T. Alkan, S.S. Durduran, Ankara / Mamak ilçesinde taşınmaz değer haritalarının bulanık mantık yöntemiyle irdelenmesi, *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi.* 11(3) (2022), 681-688. doi: 10.28948/ngmuh.1092210

[3] K. Çelik, Gayrimenkul değerlemesinde geleneksel yöntemler, *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi.* 12(1) (2022), 246-259, doi:10.17714/gumusfenbil.925678.

[4] T. Özcan, Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHP) Kullanılarak Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) Destekli Taşınmaz Değer Haritası Üretimi, Master's Thesis, *Necmettin Erbakan University, Institute of Science and Technology*, Department of Geomatics Engineering, Konya, 2019.

[5] Ö. Yurdakul, Türkiye Kadastrosunun Mevcut Durumu ve Güncelleme Çalışmalarının Katkıları, *2. International Congress of Engineering Sciences and Multidisciplinary Approaches*, 2021, Online, 2021.

[6] B. Keleş, S.S. Durduran, Osmaniye İlinin Arazi Örtüsü ve Kullanımındaki Zamansal Değişimin Uzaktan Algılama Teknikleri ile Araştırılması, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi.* 1(1) (2019), 32-52.

[7] T. Alkan, S.S. Durduran, Turizm kentlerinde taşınmaz değerlemenin CBS ve AHP yöntemi yardımıyla incelenmesi: Alanya kenti örneği, *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi.* 10(1) (2021), 178-187. doi: 10.28948/ngumuh.760816.

[8] S. Ünlü, Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) Yardımı İle Taşınmaz Değer Haritalarının Oluşturulması Ve Eskişehir Örneği, Master's Thesis, *Selçuk University, Institute of Science and Technology*, Department of Geomatics Engineering, Konya, 2010.

[9] M. Alkan, F. Özfidan, Taşınmaz Değerlemesine Yönelik Coğrafi Bilgi Sistemi Tasarımı ve Uygulaması, *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi.* 6(2) (2016), 334-344.

[10] GDLRC, 2023, General Directorate of Land Registry and Cadastre 2022 Administrative Activity Report, https://www.tkgm.gov.tr/stratejig-db/idare-faaliyet-raporlari, Ankara, (access 27.11.2023).

[11] F.B. Ünel, L. Kuşak, M. Yakar, Kamu Taşınmazlarının Yönetiminde Değerleme, *Teke Academy Publishing*, Mersin, e-ISBN: 978-605-73805-8-6, 2022.

[12] T. Yomralıoğlu, Arazi Yönetimi, Geomatics Engineering Lecture Note, *İstanbul Technic University*, İstanbul, 2021.

[13] N. Erdem, Türkiye İçin Bir Taşınmaz Değerleme Sistemi Yaklaşımı, Ph.D. Thesis, *Erciyes University, Institute of Science and Technology,* Department of Geomatics Engineering, Kayseri, 2016.

[14] H. Tanrıvermiş, Gayrimenkul Değerleme Esasları, Residential Appraisal Exam, Real Estate Appraisal Exam, Licensing Exam Workbooks, Course Code: 1014, Ankara. 2017.

[15] M. Doldur, R.M. Alkan, Nominal Değerleme Yöntemi ile CBS Destekli Taşınmaz Değer Haritalarının Oluşturulması: Avanos/Nevşehir Örneği, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergis.* 21(4) (2021), 846-863. do: 10.35414/akufemubid.888502.

[16] M.O. Mete, T. Yomralıoğlu, CBS ile Nominal Taşınmaz Değer Haritası Üretiminde Çözünürlük Araştırması, *Türkiye Arazi Yönetimi Dergisi.* 1(1) (2019), 16-23.

[17] T. Alkan, Y. Dokuz, A. Ecemiş, A. Bozdağ, S.S. Durduran, Using machine learning algorithms for predicting real estate values in tourism centers, *Soft Computing*. 27 (2023), 2601–2613, doi:10.1007/s00500-022-07579-7.

[18] C. Ulvi, G. Özkan, Taşınmaz Değerlemede Yapay Zekâ Tekniklerinin Kullanılabilirliği ve Yöntemlerin Karşılaştırılması, *Journal of Geomatics*. 4(2) (2019), 134-140, doi:10.29128/geomatik.501042.

[19] T. Alkan, S.S. Durduran, Konut Seçimi Sürecinin AHP Temelli TOPSIS Yöntemi ile Analizi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi.* 2(2), (2020).

[20] M.A. Sayar, H.Z. Selvi, İ. Buğdaycı, Suruç Çadırkent Alanının Analitik Hiyerarşi Yöntemiyle Belirlenmesi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri*. 1(1), (2019).

[21] M. Dağdeviren, D. Akay, M. Kurt, İş Değerlendirme Sürecinde Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Uygulaması, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi.* 19(2) (2004), 131-138.

[22] B. Kırar, Taşınmazlarda Emlak Vergisine Esas Değer, Tapu Değeri Ve Piyasa Değeri Arasındaki Farklılıkların İncelenmesi; Beşiktaş Örneği, Master's Thesis, *İstanbul Technic University Institute of Science and Technology*, Interdisciplinary Department, İstanbul, 2008.

[23] M. Ünal, V. Başpınar, Şekli Eşya Hukuku*, Savaş Publishing*, Ankara, 2020.

[24] M.K. Oğuzman, Ö. Seliçi, S. Oktay-Özdemir, Eşya Hukuku Kısaltılmış Ders Kitabı, *Filiz Publishing*, İstanbul, 2019.

[25] Turkish Language Society, http:www.tdk.gov.tr, (access 24.11.2023).

[26] İ. Tonay, Arsa Değerini Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi: Nazilli İlçesinde Bir Uygulama, Master's Thesis, *Aydın Adnan Menderes University, Institute of Social Sciences,* Department of Business Administration, Aydın, 2021.

[27] E. Tarin, Yerel Yönetimlerde Emlak Vergisi Matrahının Tespiti, Karşılaşılan Sorunlar ve Çözüm Önerileri, Master's Thesis, *İstanbul Aydın Üniversitesi Institute of Social Sciences*, Department of Political Science and International Relations, İstanbul, 2013.

[28] T. Yomralıoğlu, R. Nişancı, M. Çete, E. Candaş, Dünya'da ve Türkiye'de Taşınmaz Değerlemesi, *Real Estate Valuation in Turkey: II. Land Management Workshop*, 21-22 May 2012, İstanbul Technic University, İstanbul, 2012.

[29] N. Erdem, Türkiye İçin Bir Taşınmaz Değerleme Sistemi Yaklaşımı, *Journal of Geomatics.* 2(1) (2017), 18-36.

[30] Y.B. Önal, K. Tezcan, Gayrimenkul Değerleme ve Önemi: Vergisel Açıdan Bir Değerlendirme, *Muhasebe ve Denetime Bakış.* 24 (2008), 15-36.

[31] B. Demirel, A. Yelek, H.M. Alağaş, T. Eren, Taşınmaz Değerleme Kriterlerinin Belirlenmesi ve Kriterlerin Önem Derecelerinin Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemi ile Hesaplanması, *Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi.* 8(2) (2018), 665-682.

[32] Konya Meram Municipality, https://www.meram.bel.tr/upload/sdosyalar/, (access 27.11.2023).

[33] Konya Selçuklu Municipality, https://www.selcuklu.bel.tr/kurumsal/detay/238/faaliyet-raporlari.html, (access 27.11.2023).

[34] Konya Karatay Municipality, https://www.karatay.bel.tr/birim-dosyalar, (access 27.11.2023).

[35] Turkish Statistical Institute, https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Ulusal-Hesaplar-113, (access 27.11.2023).

[36] Banks Association of Türkiye, https://www.tbb.org.tr/tr/bankacilik/banka-ve-sektor-bilgileri/istatistiki-raporlar/59, (access 27.11.2023).