

ISVOS JOURNAL

INTERNATIONAL



**SCIENTIFIC
AND
VOCATIONAL
STUDIES
JOURNAL**

TOPICS

**Engineering
Science
Maths
Health**

ISSN: 2618-5938

LIST OF EDITORS

EDITOR-IN-CHIEF

Umut Saray / Tokat Gaziosmanpaşa University

Tolga Yücehan / Afyon Kocatepe University

ASSOCIATE EDITORS

Abdil Karakan / Afyon Kocatepe University

Canan Başlak / Selçuk University

Munise Didem Demirbaş / Erciyes University

MEMBER OF EDITORS

| | | |
|-----------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| Ph.D. Cem Cüneyt Ersanlı | ORCID: 0000-0002-8113-5091 | Sinop University |
| Ph.D. Uğur Çavdar | ORCID: 0000-0002-3434-6670 | İzmir Demokrasi University |
| Ph.D. Tolga Yücehan | ORCID: 0000-0002-8835-0907 | Afyon Kocatepe University |
| Ph.D. Munise Didem Demirbaş | ORCID: 0000-0001-8043-6813 | Erciyes University |
| Ph.D. Özgür Alparslan | ORCID: 0000-0002-2264-2886 | Tokat Gaziosmanpaşa University |
| Ph.D. Elif Tezel Ersanlı | ORCID: 0000-0003-0608-9344 | Sinop University |
| Ph.D. Pınar Çavdar | ORCID: 0000-0002-1989-4759 | İzmir Demokrasi University |
| Ph.D. Özlem Toprak | ORCID: 0000-0002-6910-011X | Tokat Gaziosmanpaşa University |
| Ph.D. Fatih Polat | ORCID: 0000-0002-8758-8040 | Tokat Gaziosmanpaşa University |
| Ph.D. Neslihan Özbek | ORCID: 0000-0001-7106-4763 | Ahi Evran University |
| Ph.D. Ahmet Saygılı | ORCID: 0000-0001-8625-4842 | Namık Kemal University |
| Ph.D. Bilal Şenol | ORCID: 0000-0002-3734-8807 | İnönü University |
| Ph.D. Mevlida Operta | ORCID: 0000-0002-3028-2294 | University of Sarajevo |
| Ph.D. Recep Ekici | ORCID: 0000-0002-4420-8431 | Erciyes University |
| Ph.D. Alper Bideci | ORCID: 0000-0003-2385-7552 | Düzce University |

| | | |
|------------------------------|----------------------------|--|
| Ph.D. Canan Başlak | ORCID: 0000-0003-1444-1272 | Selçuk University |
| Ph.D. Cem Emeksiz | ORCID: 0000-0002-4817-9607 | Tokat Gaziosmanpaşa University |
| Ph.D. Sefa Ersan Kaya | ORCID: 0000-0003-1754-3901 | Tokat Gaziosmanpaşa University |
| Ph.D. Ahmet Tolunay | ORCID: 0000-0001-9028-9343 | Isparta University of Applied Sciences |
| Ph.D. Altuğ Çağatay | ORCID: 0000-0001-7067-5570 | Tokat Gaziosmanpaşa University |
| Ph.D. Samed İnyurt | ORCID: 0000-0001-9339-7569 | Tokat Gaziosmanpaşa University |
| Ph.D. Oktay Erdoğan | ORCID: 0000-0003-1466-3035 | Pamukkale University |
| Ph.D. Ali Çiftçi | ORCID:0000-0001-8217-575X | University of Health Sciences |
| Ph.D. Arzu Ay | ORCID:0000-0002-8412-091X | Trakya University |
| Ph.D. Mohammad Ali Ghorbani | ORCID:0000-0002-0333-2559 | University of Tabriz |
| Ph.D. Waggas Galib Atshan | ORCID: 0000-0002-7033-8993 | University of Al-Qadisiyah |
| Ph.D. Rasoul Daneshfaraz | ORCID: 0000-0003-1012-8342 | University of Maragheh |
| Ph.D. Ayhan Erciyes | ORCID: 0000-0002-0942-5182 | Aksaray University |
| Ph.D. Feyza Gürbüz | ORCID: 0000-0002-6327-8232 | Erciyes University |
| Ph.D. Serdar Özyön | ORCID: 0000-0002-4469-3908 | Kütahya Dumlupınar University |
| Ph.D. Arzu Erçetin | ORCID: 0000-0002-8381-0011 | İstanbul Kültür University |
| Ph.D. Güllü Kırat | ORCID:0000-0002-1167-0574 | Yozgat Bozok University |
| Ph.D. Nil Doğruer Ünal | ORCID:0000-0002-4083-0944 | Mersin University |
| Ph.D. Gökçe Şeker Karatoprak | ORCID: 0000-0001-5829-6914 | Erciyes University |
| Ph.D. Mürşide Dartay | ORCID:0000-0001-8875-8702 | Fırat University |
| Ph.D. Mahdi Hosseini | ORCID: 0000-0003-0850-496X | Nanjing Forestry University |
| Ph.D. Abdil Karakan | ORCID: 0000-0003-1651-7568 | Afyon Kocatepe University |

CONTENTS

| | |
|--|-----|
| List of Editors | i |
| Contents | iii |
| Investigation of Soil Pollution with Pollution Parameters (Erzurum-Moryayla)..... | 1 |
| Numerical Study on Free Particle Reinforced Fiber-Metal Composite Sandwiches Under Ballistic Loads | 9 |
| The Role of Sustainable Forest Management in Achieving Land Degradation Neutrality Target..... | 21 |
| Determination of Current Status of The Criteria and Indicators Used in Rural Development Studies: The Case of Isparta Villages..... | 27 |
| Determination of Acceptance of Gender, Aggression and Inter-Couple Violence and the Relationship Between Midwifery and HSPES Students | 38 |
| Effects of Additives on Concrete-Rebar Adherence..... | 47 |
| Fall Detection Systems Supported by TinyML and Accelerometer Sensors: An Approach for Ensuring the Safety and Quality of Life of the Elderly | 55 |
| Determination of High Risks and Elimination of Possible Risks in the Winding Section of an Energy Company Using the Fine-Kinney Method | 62 |
| Crystal Structure of Zwitterionic (E)-9-(((3-hydroxyphenyl)imino)methyl)-1,2,3,5,6,7-Hexahydropyrido[3,2,1-ij]Quinolin-8-Olate | 72 |
| Classification of Pistachio Images Using VGG16 and VGG19 Deep Learning Models | 79 |
| Estimation of Young's Modulus of Limestones using Multi-Layer Perceptron | 87 |
| Examining The Effect of Pre-processed Covid-19 Images On Classification Performance Using Deep Learning Method..... | 94 |
| Problems Experienced By Inland Water Fishermen During The Pandemic (Covid-19): The case of Yozgat Province | 103 |
| Quantum Mechanical Calculations, Hirshfeld Surface Analysis, Molecular Docking, ADME and Toxicology Studies of the Ethyl 4-chloro-2-[(4-nitrophenyl)hydrazono]-3-oxobutrate Compound | 109 |
| A Study in Enhancing Battery Management Systems for Diverse Battery Types | 122 |
| Lossless Grounded Capacitance Multiplier Based On Two CFOAs | 137 |
| Biomimicry: Journey to the Future with the Power of Nature..... | 149 |
| Air Pollution Assessment in Turhal District: Temporal Analysis of Pollutants..... | 161 |
| Prediction of Chicken Diseases by Transfer Learning Method | 170 |

Assessing the Roles of Raw Materials in Sustainable Development Goals: Current Situation and Future Prospects.....176

Revitalizing Turkish Mythological Elements through Artificial Intelligence Applications in Graphic Design: A Case Study on Midjourney187

Remote-Controlled Affordable Solenoid Valve Design and a Web-Based Approach to Its Implementation.....206

The Effect of Data Decomposition on Prediction Performance in Wind Speed Prediction with Artificial Neural Network.....213

Comparison of Boriding Heat Treatment and Induction Boriding Method.....224

Investigation of Soil Pollution with Pollution Parameters (Erzurum-Moryayla)

Güllü Kırat¹

Yozgat Bozok University, Yozgat, Turkey
ORCID ID: 0000-0002-1167-0574

Abstract

Soil samples in Moryayla village located 156 km northeast of Erzurum and Cu mineralization area around it were collected randomly. In these samples, 20 samples were taken in order to investigate the metals found and the pollution limits of these metals and the sources that cause this pollution. The geochemical analyzes (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn and Fe) of the collected soil samples were made and evaluated with the pollution parameters. In the calculation of these parameters, enrichment factor (EF); geoaccumulation index (Igeo); contamination factor (CF) and pollution load indices (PLI) were used by using average shale values and crust values. Statistically obtained Cu values were calculated as minimum 25.2 ppm, maximum 79.7 ppm and average 45.2. Among the statistically analyzed elements; A high positive correlation was observed between Cd and Pb and Zn, Cr with Ni and Pb and Zn ($p < 0.01$). It has been observed that the average values of Cu, Fe and Pb metals are higher than the world average shale values, while the metal values of Cd, Cr, Ni and Zn are lower. In the work area according to the values obtained, EF values are in the medium to extremely high enrichment class of other metals except Cd; It has been calculated that Igeo values show very little contamination and CF values show little-medium contamination and PLI values of Cd, Cu, Pb and Zn metals are above 1.

Keywords: “Geochemical analysis, pollution parameters, correlation, soil samples.”

1. Giriş

Ağır metaller, özgül ağırlığı 5 g/cm^3 'ten daha büyük olan ve kirletici veya toksik olan metaller veya yarı-metaller olarak tanımlanmaktadır [1, 2, 3].

Cd, Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn gibi ağır metaller, topraktaki herhangi bir kimyasal, fiziksel veya biyolojik süreçte bozunmaya karşı dayanıklı olduklarından ve herhangi bir şekilde taşınmış olsalar da değişmeden kalabilirler ve bu metaller topraklarda çevresel anlamda çok tehlikeli kirlenme faktörlerini oluşturabilirler. Belirli eşiklerin üzerindeki konsantrasyonlarda metallerin varlığı, toprakların mikrobiyolojik dengesini etkiler ve verimliliklerini azaltabilir. Ağır metal kontaminasyonundan kaynaklanan toprak kirliliği, toksik olduğu için gıda üzerindeki etkileri açısından da çok tehlikeli bir durumdur [4].

Toprağın iz element içeriği, ana kayalarının yapısına ve toprağa giren kanalizasyon çamurlarının, endüstriyel atıkların ve gübre miktarına bağlıdır [5]. Bitki ve hayvanların sağlıklı büyümesi için yaklaşık 20 eser element gerekli olmasına rağmen, bunların fazla konsantrasyonlarda olması fitotoksik etki yapabilir ve hayvan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere sahip olabilir [6, 7, 8, 9].

Tarihsel ve modern madencilik ve endüstriyel operasyonların bir sonucu olarak nehirlerin ve kentsel çevrelerin metallerle (örneğin; Cd, Cu, Pb ve Zn) ciddi şekilde kirlendiği genel olarak bilinmektedir [10, 11, 12]. Bu tür kirleticilerin açığa çıkması, bazı çevrelerde önemli bir çevre ve insan sağlığı tehdidi oluşturabilir [12]. Ağır metal kirliliğine bağlı toprak kirliliği ciddi bir sorundur. Çünkü toksiktir ve biyo-biriktirme kapasitesi gıda zinciri üzerindeki etkileri açısından çok tehlikelidir. Toprak ortamında, eser ($< 1000 \text{ mg / kg}$) ve nadiren toksik [13] olarak kabul edilen seviyelerde ana materyallerin ayrışmasının pedojenetik süreçlerinden doğal olarak ağır metaller oluşur. İnsan faaliyetleri nedeniyle, endüstriyel, kırsal ve kentsel çevrelerdeki toprakların çoğu, bir veya daha fazla ağır metal biriktirebilir [9].

Hızla artan nüfus, sanayileşme, kentleşme, motorlu taşıtların egzoz gazları, fosil yakıtların aşırı kullanımı, çevreye olan duyarsızlık, maden yatakları, volkanik faaliyetler, atık sular, aşırı gübre kullanımı toprak, su ve hava kaynakları üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır. Biyolojik olarak ağır metaller, çevrede kirlilik oluşturan ve toksitesi yüksek olan kirleticilerdir [1]. Ağır metaller, yüksek yoğunluklara sahip olduklarından düşük konsantrasyonlarda olsalar bile toksik ve

¹ Corresponding Author
E-mail Address: gullu.kirat@yobu.edu.tr

zehirleyicidirler. Ağır metaller çoğunlukla toprakta toprak tanecikleri şeklinde organik bileşikler oluşturur ve minerallerin yapısına bağlanarak, farklı formlarda bulunabilirler [14]. Ağır metaller çoğunlukla yer kabuğunda silikat, karbonat ve sülfür şeklinde yer alabilmektedirler [15].

Ağır metaller çevreye birçok kaynaktan yayılır. Cd, doğada maden olarak Cu, Pb ve Zn ile birlikte bulunan bir elementtir. Cd, renk pigmenti, PVC ürünlerinin stabilizasyonu, farklı alaşımların yapısında ve Ni-Cd pillerde kullanılmaktadır. Cd kirliliğini meydana getiren en önemli etken fosfatlı gübreler olduğu kabul edilmektedir. Pb, eski dönemlerde mutfak malzemelerinde kullanılırdı. Ancak son yıllarda çevremizdeki Pb kirliliğinin temel sebebi petrol ürünleridir. İnorganik Pb kirliliğinin kaynağı, madencilik ve kazı faaliyetleri olduğu düşünülmektedir [16].

Toprakta Cu miktarının artması, Mg ve Fe miktarını azalttığı ve K içeriklerini arttırdığı sonucuna varılmıştır [17]. Zn, maden sanayi, metal-alaşım, kozmetik, boya, plastik gibi değişik alanlarda kullanılmaktadır. Ayrıca Zn, endüstriyel atık sular, asit yağmurları ve kanalizasyon suları ile toprağa kolay bir şekilde taşınır [18]. Cr, boya, deri, cam, çelik, seramik gibi birçok kimya ve sanayi alanında kullanılan [19] ve bitki istenmeyen bir ağır metaldir. Ni, kil boyutunda ve minerallerce zengin topraklarda çok fazla, organik ve peat topraklarda ise az bulunur [20]. Topraklarda bulunan Ni asıl kaynağı, volkanik kökenli kayalar ve fosforlu gübrelerdir [21].

Toprakta bulunan ağır metaller topraktaki faaliyetleri engellenmekte, toprak ekosistemi üzerine olumsuz etkiler yapmakta ve bu olumsuz etkiler tüm ekosisteme kolay bir şekilde yansıtılmaktadır. toprakta kompleks yapılar oluşturan ağır metaller, toksikliğin canlılar üzerindeki etkilerini arttırmırlar. Ağır metaller, toprak mikroorganizmasını olumsuz yönde etkileyerek, toprağın biyolojik aktivitesini bozarak toprağın nitrifikasyonunu, enzim aktivitesini, toprak solunumunu ve organik maddelerin mineralizasyonunu olumsuz yönde etkiler. Böylece toprakların verimi düşer ve tüm özellikleri değişir [21].

Ağır metaller tarafından kirlenmiş toprakların temizlenmesinde birçok yöntem söz konusudur. Bu yöntemler;

- Bu tür alanların kullanımını yasaklamak ve/vaya karantinaya almak,
- İmmobilizasyon ve izolasyon teknikleriyle daha fazla yayılımını önlemek,
- Bu tür toprakları başka bir alana götürmek ve depolamak,
- Bu toprakları bulunduğu bölgede ya da dışında bir yerde temizlemek [21].

Bu çalışmanın amacı, zenginleşme faktörü (EF), jeobirikim indeksi (Igeo), kontaminasyon faktörü (CF) ve kirlilik yük indeksleri (PLI) gibi kirlilik parametreleri kullanılarak Moryayla köyü ve çevresinde incelenen metaller açısından kirlilik boyutunu saptamaktır.

2. Analitik Yöntemler

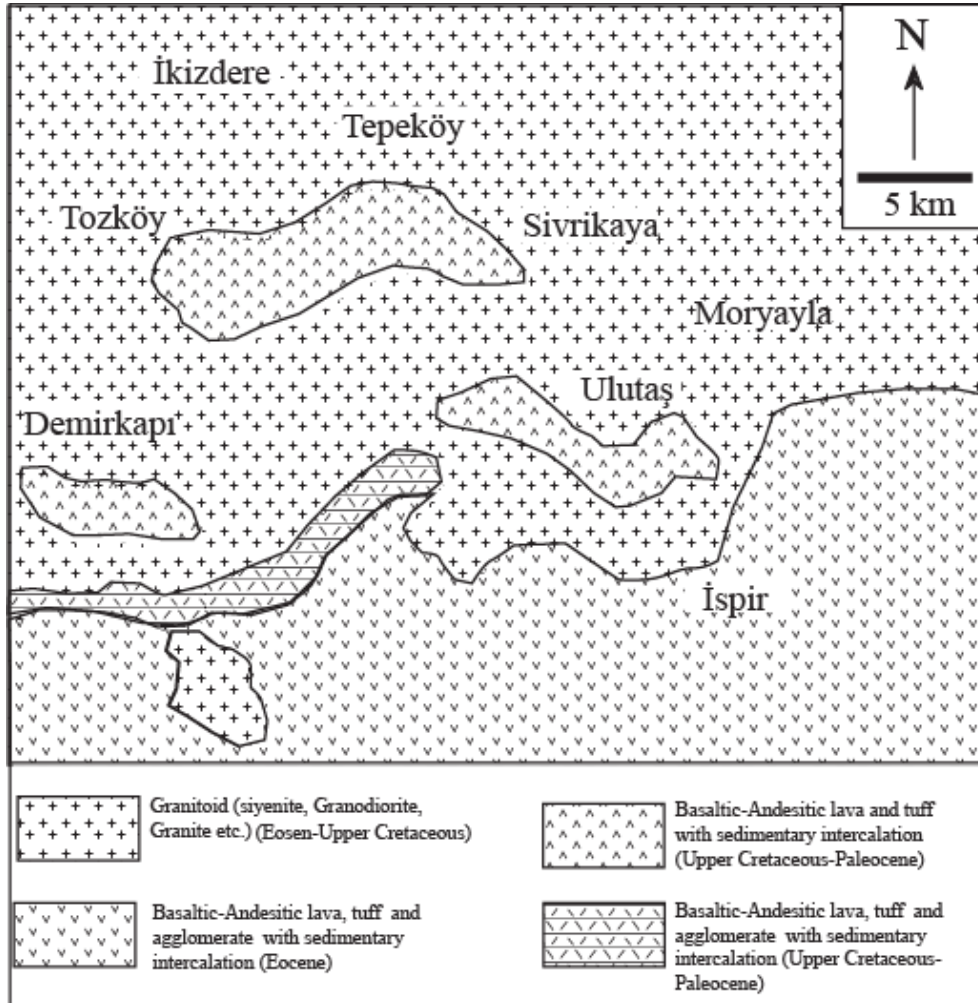
Çalışma alanının toprak yapısı dikkate alınarak örnekleme alanı seçilerek GPS ile 20 adet toprak örneği alınmıştır (Tablo 1). Seçilen lokasyondan 0.5 ile 1 kg arasında alınan örnekler oda sıcaklığında kurutuldu. Daha sonra alınan bu örnekler, < 2 mm gözenekliliğe sahip bir elek yardımıyla elendi. Elementlerin analizleri, ICP-MS (Endüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometresi) kullanılarak gerçekleştirildi. Analiz sonuçlarının (RSD) doğruluğu için kalite güvence / kalite kontrol (QA / QC) çalışmanın her aşamasında öncelik almıştır. Bu sonuçların doğruluğu, < % 5 sapma ile ikili numunelerde jeokimyasal referans numuneleri kullanılarak kontrol edilmiştir.

3. Tartışma ve Sonuçlar

Moryayla köyü Erzurum'un 156 km kuzeydoğusunda yer almaktadır (Şekil 1). Porfiri Cu mineralizasyonu, Eosen yaşlı kuvars monzonitler içerisinde bulunur. Çalışma alanındaki volkanik ve tortul kayalar, mermer ve şistten oluşan metamorfik temeli uyumsuz olarak örtmektedir. Volkanik ve tortul kayalar, alt ve üst Eosen yaşlı volkanik-tortul kayalar olarak ayırt edilmiştir ve bu kayalar granodiyorit ve kuvars-monzonitler tarafından kesilmiştir. Kalkopirit ve molibdenit cevherleşmesi, kuvars-monzonit içinde KD doğrultulu altere zon boyunca yer almıştır. Cevherleşmiş zonun kenarlarında sfalerit ve galen bulunmaktadır (Şekil 2).



Şekil 1. Erzurum - Moryayla yer buldurur haritası



Şekil 2. Çalışma alanı jeoloji haritası [22]

Bu çalışmada, 20 adet toprak örneğindeki (ppm) Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn ve Fe (%) metal değerlerinin minimum, maksimum aralık, ortalama, medyan, standart sapma değerleri hesaplanmış ve ortalama şeyl ve yerkağıu değerleri ile birlikte Tablo 1'de verilmiştir. Bu örneklerde tüm elementlerin standart sapma değerleri, ortalama değerlerinden düşük olduğu gözlenmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. İncelenen elementlerin istatistiksel değerleri ile ortalama şeyl ve yerkağıu değerleri

| | Minimum | Maximum | Aralık | Ortalama | Medyan | Std. Sapma | Şeyl | Yerkağıu |
|---------------|---------|---------|--------|----------|--------|------------|------|----------|
| Cd | 0.11 | 0.53 | 0.42 | 0.2 | 0.205 | 0.1 | 0.3 | 0.1 |
| Cr | 10 | 53 | 43 | 19.1 | 16 | 11.1 | 90 | 100 |
| Cu | 25.2 | 79.7 | 54.5 | 45.2 | 41.1 | 13.5 | 44 | 55 |
| Ni | 9.3 | 74.2 | 64.9 | 17.4 | 13.9 | 13.8 | 70 | 75 |
| Pb | 10.7 | 41.2 | 30.5 | 24.1 | 21.5 | 9.5 | 20 | 13 |
| Zn | 50 | 98 | 48 | 75.1 | 75.5 | 12.7 | 95 | 70 |
| Fe (%) | 0.64 | 4.58 | 3.94 | 23.6 | 25.1 | 134.9 | 4.7 | 5 |

Çalışma alanında incelenen metaller arasındaki Sperman korelasyon katsayılarına bakıldığında Cd-Zn, Cr-Ni ve Pb-Zn arasında güçlü bir pozitif korelasyon ($p > 0.01$), Cd-Pb arasında ise pozitif korelasyon gözlenmiştir ($p > 0.05$) (Tablo 2).

Tablo 2. İncelenen elementlerin sperman korelasyon değerleri (* $p > 0.05$, ** $p > 0.01$)

| | Cd | Cr | Cu | Ni | Pb | Zn |
|-----------|-----------|-----------|-------|--------|-----------|----|
| Cd | 1 | | | | | |
| Cr | -0.18 | 1 | | | | |
| Cu | 0.085 | 0.003 | 1 | | | |
| Ni | 0.249 | 0.639(**) | 0.134 | 1 | | |
| Pb | 0.546(*) | -0.245 | 0.056 | 0.031 | 1 | |
| Zn | 0.715(**) | -0.428 | 0.321 | -0.057 | 0.773(**) | 1 |

Metal zenginleştirme faktörü (EF), Buat-Menard ve Chesselet [23] tarafından her bir toprak örneğindeki kirlilik derecesini belirlemek için kullanılmıştır [24]. Metal zenginleştirme faktörü, ilgili çalışmalarda belirtilen metal miktarı aynı örnekteki Fe veya Al miktarlarıyla normalize edilerek hesaplanır [25, 26,27, 28]. Metal konsantrasyonları yerine EF değerlerini kullanmanın amacı, demir (Fe) 'yi referans element olarak almaktır; tane boyutu, karbonat seyreltme ve mineral içeriği gibi büyük farklılıkların etkisini ortadan kaldırarak normalleşmeyi sağlar. Ortalama şeyl metal konsantrasyonları (Tablo 1), antropojenik kirlenmelerin bulunmadığı yerkağıunun üst kısmını temsil ettikleri için deniz dibi çökeltilerinin metal içeriklerinin değerlendirilmesine dayanmaktadır [29, 30, 31]. Böylece toprak analizi sonuçlarının değerlendirilmesinde metal değerleri ortalama şeyl değerleri ile karşılaştırılmıştır [22, 31]. Bu çalışmada zenginleştirme faktörü hesaplanırken normalleştirme faktörü olarak Fe kullanılmıştır. EF aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir:

$$EF = (C_n / C_{ref})_{\text{örnek}} / (B_n / B_{ref})_{\text{referans}}$$

Cn: Analizi yapılan örnekteki değer,

Cref: Referans metalin örnekteki değeri,

Bn: metalin yerkağıundaki ortalama değeri [32, 33]

Bref: Referans metalin yerkağıunda ortalama değeri [32, 33]

EF değeri 5 ayrı zenginleşme sınıfında incelenmektedir:

EF < 2 Az, 2 ≤ EF ≤ 5 Orta miktarda, 5 ≤ EF ≤ 20 Yüksek miktarda, 20 ≤ EF ≤ 40 Çok yüksek miktarda, EF > 40 Aşırı miktarda zenginleşme şeklindedir [33, 34].

İnceleme alanındaki elde edilen Cd'un minimum zenginleşme ve Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn'nun EF değerlerinde orta, yüksek, çok yüksek ve aşırı zenginleşme olduğu gözlenmiştir (Tablo 3).

Geo-akümülyasyon indeksi, toprak örneğinin kirlilik durumunu belirlemek ve kirlilik sınıflarına ayırmak için kullanılır [22, 31]. Bu indeks değerini elde etmek için aşağıdaki denklem kullanılır.

$$I_{geo} = \log_2 (C_n / 1.5 \times B_n)$$

Cn: Topraktaki metal değeri,

Bn: n metalinin yer kabuğundaki ortalama değeri [32, 33]

1.5: Temel değer matrisi korelasyon faktör değeri (çok küçük antropojenik etkilerden dolayı).

Jeobirikim indeksi Müller [35, 36] tarafından hazırlanan kirlilik sınıfı dereceleri;

Igeo < 0 Kirlilik yok 0 < Igeo < 1 Kirlilik yok-az kirlilik 1 < Igeo < 2 Orta derecede kirlilik 2 < Igeo < 3 Orta-çok kirlilik 3 < Igeo < 4 Çok kirlilik 4 < Igeo < 5 Çok-aşırı kirlilik Igeo > 5 Aşırı kirlilik [33].

Çalışma alanında hesaplanan Igeo değerleri 0 - 1 arasında olduğundan kirlilik yok-az kirlilik olarak sınıflandırılmıştır (Tablo 4).

Tablo 3. Toprak örneklerindeki metallerin Zenginleşme Faktör (EF) değerleri

| EF | Cd | Cr | Cu | Ni | Pb | Zn |
|-----------------|------|------|------|------|------|-------|
| 1 | 0.06 | 15.2 | 35.8 | 15.8 | 9.3 | 74.5 |
| 2 | 0.11 | 17.4 | 60.2 | 17.1 | 25.3 | 111.1 |
| 3 | 0.02 | 5 | 20.8 | 4.2 | 4.9 | 29.9 |
| 4 | 0.03 | 2.8 | 13.2 | 3.9 | 6 | 24.2 |
| 5 | 0.07 | 5.2 | 24 | 7.5 | 8.4 | 42.2 |
| 6 | 0.11 | 17.3 | 49.4 | 14.3 | 27.1 | 127 |
| 7 | 0.03 | 16.9 | 60.5 | 12.3 | 6.8 | 59.3 |
| 8 | 0.08 | 41.8 | 86.5 | 31.5 | 13.3 | 88.9 |
| 9 | 0.06 | 47.1 | 32.2 | 66 | 12.1 | 55.1 |
| 10 | 0.02 | 6.9 | 12.2 | 4.9 | 2.4 | 18.7 |
| 11 | 0.09 | 27.8 | 65.8 | 22.9 | 20.4 | 126.7 |
| 12 | 0.01 | 3.7 | 23.1 | 4.5 | 3.6 | 26.6 |
| 13 | 0.02 | 15.3 | 15 | 5.9 | 2.7 | 19.2 |
| 14 | 0.02 | 4.9 | 17.8 | 4.6 | 4.5 | 26.2 |
| 15 | 0.01 | 4.6 | 10 | 3.7 | 2.8 | 16.7 |
| 16 | 0.03 | 13 | 32.1 | 12.7 | 16.5 | 53.6 |
| 17 | 0.03 | 6.4 | 29.4 | 5.6 | 5.2 | 31.1 |
| 18 | 0.02 | 5.9 | 26.4 | 4.7 | 4.4 | 25 |
| 19 | 0.06 | 8.4 | 29.8 | 9.2 | 16.1 | 61.1 |
| 20 | 0.02 | 4.8 | 18.3 | 3.1 | 7.3 | 25.5 |
| Minimum | 0.01 | 2.8 | 10 | 3.1 | 2.4 | 16.7 |
| Maksimum | 0.11 | 47.1 | 86.5 | 66 | 27.1 | 127 |

Tablo 4. Toprak örneklerindeki metallerin Jeo-akümülayon (Igeo) değerleri

| Igeo | Cd | Cr | Cu | Ni | Pb | Zn |
|-----------------|-------|------|------|------|------|------|
| 1 | -6.08 | 0.03 | 0.07 | 0.03 | 0.12 | 0.04 |
| 2 | -4.20 | 0.03 | 0.08 | 0.04 | 0.17 | 0.04 |
| 3 | -5.68 | 0.03 | 0.08 | 0.03 | 0.14 | 0.04 |
| 4 | -3.37 | 0.02 | 0.08 | 0.04 | 0.17 | 0.04 |
| 5 | -2.04 | 0.03 | 0.09 | 0.04 | 0.17 | 0.05 |
| 6 | -4.44 | 0.03 | 0.07 | 0.03 | 0.17 | 0.05 |
| 7 | -7.08 | 0.03 | 0.09 | 0.03 | 0.11 | 0.04 |
| 8 | -5.16 | 0.04 | 0.09 | 0.04 | 0.14 | 0.04 |
| 9 | -4.71 | 0.04 | 0.08 | 0.06 | 0.15 | 0.04 |
| 10 | -3.65 | 0.04 | 0.08 | 0.04 | 0.14 | 0.04 |
| 11 | -5.68 | 0.03 | 0.08 | 0.04 | 0.14 | 0.04 |
| 12 | -6.08 | 0.03 | 0.09 | 0.04 | 0.14 | 0.04 |
| 13 | -6.30 | 0.04 | 0.08 | 0.04 | 0.12 | 0.04 |
| 14 | -6.08 | 0.03 | 0.08 | 0.04 | 0.15 | 0.04 |
| 15 | -5.68 | 0.03 | 0.08 | 0.04 | 0.14 | 0.04 |
| 16 | -6.30 | 0.03 | 0.08 | 0.04 | 0.17 | 0.04 |
| 17 | -4.85 | 0.03 | 0.09 | 0.04 | 0.15 | 0.04 |
| 18 | -4.85 | 0.03 | 0.10 | 0.04 | 0.15 | 0.04 |
| 19 | -3.97 | 0.03 | 0.08 | 0.04 | 0.18 | 0.05 |
| 20 | -5.00 | 0.03 | 0.09 | 0.03 | 0.18 | 0.05 |
| Minimum | -7.08 | 0.02 | 0.07 | 0.03 | 0.11 | 0.04 |
| Maksimum | -2.04 | 0.04 | 0.10 | 0.06 | 0.18 | 0.05 |

Kontaminasyon Faktörü (Cf), ağır metallerin toprak örnekleri üzerindeki antropojenik etkilerini değerlendirmek ve çevre kirliliğinin kapsamını açıklamak için birçok araştırmacı tarafından yaygın olarak kullanılan bir faktördür [22, 25, 31, 37, 38].

$$CF = C_{metal} / C_0$$

C_{metal}: Topraktaki metalin konsatrasyonu

C₀: İncelenen metalin yerkabuğundaki ortalama değeri [32, 33]

CF<1 Az kirlilik, 1<CF<3 Orta derecede kirlilik, 3<CF<6 Yüksek derecede kirlilik, CF>6 Aşırı yüksek derecede kirlilik [33]. Tüm lokasyonlarda incelenen metaller az ve orta arasında kontaminasyon dereceleri gözlenmiştir (Tablo 5).

Tablo 5. Toprak örneklerindeki metallerin Kontaminasyon Faktör (CF) değerleri

| CF | Cd | Cr | Cu | Ni | Pb | Zn |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | 0.50 | 0.13 | 0.57 | 0.18 | 0.62 | 0.62 |
| 2 | 0.90 | 0.14 | 0.91 | 0.18 | 1.58 | 0.87 |
| 3 | 0.57 | 0.12 | 0.93 | 0.13 | 0.90 | 0.69 |
| 4 | 1.17 | 0.11 | 0.94 | 0.19 | 1.76 | 0.89 |
| 5 | 1.77 | 0.13 | 1.13 | 0.25 | 1.62 | 1.03 |
| 6 | 0.83 | 0.13 | 0.69 | 0.14 | 1.57 | 0.93 |
| 7 | 0.37 | 0.18 | 1.15 | 0.17 | 0.54 | 0.59 |
| 8 | 0.67 | 0.36 | 1.34 | 0.34 | 0.85 | 0.72 |
| 9 | 0.77 | 0.59 | 0.73 | 1.06 | 1.13 | 0.65 |
| 10 | 1.07 | 0.31 | 1.00 | 0.29 | 0.83 | 0.80 |
| 11 | 0.57 | 0.18 | 0.77 | 0.19 | 0.98 | 0.77 |
| 12 | 0.50 | 0.12 | 1.40 | 0.19 | 0.91 | 0.84 |
| 13 | 0.47 | 0.44 | 0.79 | 0.22 | 0.59 | 0.53 |
| 14 | 0.50 | 0.16 | 1.03 | 0.19 | 1.07 | 0.79 |
| 15 | 0.57 | 0.21 | 0.83 | 0.22 | 0.97 | 0.73 |
| 16 | 0.47 | 0.19 | 0.85 | 0.24 | 1.79 | 0.74 |
| 17 | 0.73 | 0.18 | 1.49 | 0.20 | 1.08 | 0.82 |
| 18 | 0.73 | 0.22 | 1.81 | 0.23 | 1.24 | 0.89 |
| 19 | 0.97 | 0.14 | 0.93 | 0.20 | 2.06 | 0.99 |
| 20 | 0.70 | 0.18 | 1.24 | 0.15 | 2.05 | 0.91 |
| Minimum | 0.37 | 0.11 | 0.57 | 0.13 | 0.54 | 0.53 |
| Maksimum | 1.77 | 0.59 | 1.81 | 1.06 | 2.06 | 1.03 |

PLI, her bir örnek lokasyonundaki toprak ağır metal kirlilik boyutunun değerlendirilmesinde kullanılmıştır [33, 39].

$$PLI = \sqrt[n]{(n \times CF_1 \times CF_2 \times \dots \times CF_n)}$$

CF: Kirliliği gösteren faktör

n: Metal sayısını gösterir.

Hesaplanan PLI değerleri >1 ise kirlilik görülmektedir, PLI değerleri <1 ise kirlilik görülmemektedir [40] (Tablo 6).

Tablo 6. Toprak örneklerindeki metallerin Kirlilik Yük İndeksi (PLI) değerleri

| | Cd | Cr | Cu | Ni | Pb | Zn |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| PLI | 1.0 | 0.9 | 1.2 | 0.9 | 1.0 | 1.0 |

4. Sonuç

Moryayla köyü ve çevresindeki topraklarda Zenginleşme Faktörüne (EF) göre; Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn değerlerinde orta, yüksek, çok yüksek ve aşırı zenginleşme olduğu gözlenmiştir. Jeobirikim İndeksi (Igeo) parametresine göre; incelenen metallerde kirlilik yok-az kirlilik tespit edilmiştir. Kontaminasyon Faktörü (CF) göre, tüm lokasyonlarda az ve orta arasında kontaminasyon dereceleri bulunmuştur. Ayrıca, inceleme alanının her bir lokasyonundan elde edilen kirlilik yük indeksi (PLI) değerlerine göre çalışma konusunu oluşturan Cd, Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn metallerinin bütünü için bir değerlendirme yapılmıştır. Bu değerlendirme kapsamında inceleme alanı Cd, Cu, Pb ve Zn metalleri bakımından kirletildiği tespit edilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma esnasında desteklerini esirgemeyen GRC Madencilik Ltd. Şirketi'ne teşekkür ederim.

Referanslar

- [1] Duffus, J.H. "Heavy metals a meaningless term? (IUPAC Technical Report)". *Pure and Applied Chemistry*. 745:793-807, 2002.
- [2] Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A. ve Timur, S. "Metallerin çevresel etkileri". *Metaller Dergisi*, 136: 47-53, 2009.
- [3] Özkul, C., Acar, R. U., Köprübaşı, N., Er, A. E., Kızılkaya, H. İ., Metin, M. ve Şenel, M. N. "Altıntaş (Kütahya-Türkiye) Ovası Tarım Topraklarında Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması, Öncel Çalışma". *Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi* Cilt: 17, No: 1 (13-26), 2018. DOI: 10.30706/uybd.426408
- [4] Barbieri, M., Nigro, A. and Sappa, G. "Soil contamination evaluation by Enrichment Factor (EF) and Geoaccumulation Index (Igeo)". *Senses Sci*; 23:94-97, 2015. doi: 10.14616/sands-2015-3-9497
- [5] Williams, C. H. and David, J. "The accumulation of Cadmium from Phosphorus Fertilisers and their effect on the Cadmium Content of Plants". *Soil Sci* 121: 86-93, 1976.
- [6] Mitchell, R. L. and Burridge, S. C. "Trace Element in soils and crops". *Phil Trans Royal Soc London B* 288: 15-24, 1979.
- [7] Dickshroon, W, Van Broekhoven, L. W. and Lampe, J. E. M. 1979. "Photo toxicity of Zn, Ni, Cd, Cu and Cr in three pasture plant species supplied with graduated amount from the soil". *Nz Agric Sci* 27: 241-253. 4.
- [8] Underwood, E. J. "Trace Elements in human and animal nutrition", New York. Academic Press 461-477, 1971.
- [9] Barbieri, M. "The Importance of Enrichment Factor (EF) and Geoaccumulation Index (Igeo) to Evaluate the Soil Contamination". *J. Geol Geophys* 5: 237, 2016. doi:10.4172/2381-8719.1000237
- [10] Hudson-Edwards, K.A., Macklin, M. G., Miller, J. R. and Lechler, P. J. "Sources Distribution and Storage of heavy metals in the Rio Pilcomayo, Bolivia". *J Geochem Explor* 72: 229-250, 2001.
- [11] Miller, J. R., Hudson-Edwards, K. A., Lechler, P. I., Preston, D. and Macklin, M. G. "Heavy Metal Contamination of water soil and produce within riverine communities of the Rio Pilcomayo Basin, Bolivia". *Sci Total Environ* 320: 189-209, 2004.
- [12] Taylor, M. P., Mackay, A. K., Hudson-Edwards, K. A. and Holz, E. "Soil Cd, Cu, Pb and Zn Contaminant, around Isa City, Queensland, Australia: Potential Sources and risks to human health". *Appl Geochem* 25: 841-855, 2010.
- [13] Wuana, R. A. and Okieimen, F. E. "Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources, Chemistry, Risks and Best Available Strategies for Remediation". *ISRN Ecology International Scholarly Research Network* 402647: 20, 2011.
- [14] Kafadar, F. ve Saygıdeğer, S. "Gaziantep İlinde Organize Sanayi Bölgesi Atık Suları İle Sulanan Bazı Tarım Bitkilerinde Kurşun Miktarlarının Belirlenmesi". *Ekoloji*.75:41-48, 2010.
- [15] Okcu, M., Tozlu, E., Kumlay, A. M. ve Pehlivan, M. "Ağır Metallerin Bitkiler Üzerine Etkileri". *Alınları Zirai Bilimler Dergisi*. 17(2): 14-26, 2009.
- [16] Yavuz, O. ve Sarigül, N. "Toprak ve Sucul Ortamlardaki Ağır Metal Kirliliği ve Ağır Metal Dirençli Mikroorganizmalar". *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 71: 44-51, 2016.
- [17] Sönmez, S., Kaplan, M., Sönmez, N. K., Kaya, H. and Uz, İ. "High level of copper application to soil and leaves reduce the growth and yield of tomato plants". *Sci. Agric. Piracicaba, Braz.* 63(3):213-218, 2006.
- [18] Vaillant, N., Monnet, F., Hitmi, A., Sallanon, H. and Coudret, A. "Comparative study of responses in four *Datura* species to a zinc stress". *Chemosphere*. 59:1005-1013, 2005.
- [19] Shanker, A. K., Cervantes, C., Loza-Tavera, H. and Avudainayagam, S. "Chromium toxicity in plants". *Environment International*. 31(5):739-753, 2005.
- [20] Kacar, B. "Toprak Analizleri". 2. Baskı. Nobel Yayınları No:1387, Ankara, 2009.
- [21] Yerli, C., Çakmakçı, T., Şahin, Ü. ve Tüfenkçi, Ş. "Ağır Metallerin Toprak, Bitki, Su ve İnsan Sağlığına Etkileri". *Türk Doğa ve Fen Derg.* Cilt 9, Özel Sayı, Sayfa 103-114, 2020.
- [22] Kirat, G. and Aydın, N. "Investigation of Metal Pollution in Moryayla Erzurum and Surrounding Stream Sediments, Turkey". *Inter J of Environ Sci and Tech.* Volume 15, Issue 10, pp 2229–2240, 2018. DOI: 10.1007/s13762-017-1611-9
- [23] Buat-Menard, P. and Chesselet, R. "Variable influence of the atmospheric flux on the trace metal chemistry of oceanic suspended matter". *Earth Planet Sci Lett* 42:399–411, 1979.
- [24] Vaezi, A. R., Karbassi, A. R., Valavi, S. H. and Ganjali, M. R. "Ecological risk assessment of metals contamination in the sediment of the Bamdezh wetland, Iran". *Int J Environ Sci Technol* 12:951–958, 2015.
- [25] Abraham, G. M. S and Parker, R.J. "Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland", New Zealand. *Environ Monit Assess* 136(1–3):227–238, 2008.
- [26] Bresline, V. T. and Sanudo-Wilhelmy, S. A. "High spatial resolution sampling of metals in the sediment and water column in port Jefferson Harbour", New York. *Estuaries* 22:669–680, 1999.
- [27] Windom, H. L., Schropp, S. J., Calder, F.D., Ryan, D. J., Smith, R. G., Burney, L. C., Lewis, F. G. and Rawlinson, C. H. "Natural trace metal concentrations in estuarine and coastal marine sediments of the southeastern United State". *Environ Sci Technol* 23:314–320, 1989.

- [28] Bruland, K. W., Bertine, K., Koide, M. and Goldberg, E. D. "History of metal pollution in southern California coastal zone". *Environ Sci Technol* 8:425–432, 1974.
- [29] Algan, O., Balkis, N., Çağatay, M. N. and Sarı, E. "The sources of metal in the shelf sediments of the Marmara Sea, Turkey". *Environ Geol.* 46:932–950, 2004.
- [30] Pekey, H., Karakas, D., Ayberk, S., Tolun, L. and Bakoğlu, M. "Ecological risk assesment using trace elements from surface sediments of Izmit (Gulf Northeastern Marmara Sea) Turkey". *Mar Pollut Bull* 48:946–953, 2004.
- [31] Pehlivan, H. "Investigation of heavy metal pollution in sediments of Southern Marmara Sea (The Kocasu Delta)". Master Degree Thesis, Hacettepe University, Department of Environmental Engineering. Fen bilimleri Enstitüsü, 151, Ankara, 2017.
- [32] Mason, B. *Principals of geochemistry*. New York: Wiley, 1966.
- [33] Özkul, C. "Kütahya Şehir Merkezinde Yer Alan Çocuk Parklarındaki Toprakların Ağır Metal Kirliliğinin Belirlenmesi". *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19, 015803: 226-240, 2019. Doi: 10.35414/akufemubid.408653
- [34] Sutherland, R. A. "Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii". *Environ. Geol.* 39: 611–27, 2000.
- [35] Müller, G. "Index of geo-accumulation in sediments of the Rhine River". *Geo J*, 2:108–118, 1969.
- [36] Müller, G. "Die Schwermetallbelastung der Sedimenten des Neckars und Seiner Nebenflüsse", *Chemiker-Zeitung*, 6:157, 1981.
- [37] Esen, E, Kucuksezgim, F. and Uluturhan, E. "Assessment of trace metal pollution in surface sediments of Nemrut Bay, Aegean Sea". *Environ Monit Assess* 160(1–4):257, 2010.
- [38] Uluturhan, E. "Heavy metal concentrations in surface sediments from two regions Saros and Gokova Gulfs of the Eastern Aegean Sea". *Environ Monit Assess* 165(1–4):675, 2010.
- [39] Thomlinson, I. "Exploration geochemistry: design and interpretation of soil surveys", *Rev Econ Geol*, 3:1–18, 1986.
- [40] Chakravarty, I. M. and Patgiri, A. D. "Metal Pollution Assessment in Sediments of the Dikrong River, N.E." *India Journal of Human Ecology*, 27:63-67, 2009.

Numerical Study on Free Particle Reinforced Fiber-Metal Composite Sandwiches Under Ballistic Loads

Umut Çalışkan^{a,1}, Nisanur Duman^b, Arslan Talha Terme^c, Mustafa Çayır^d, Mürüvvet Bozkurt^e

^a Erciyes University, Department of Mechanical Engineering, Melikgazi/Kayseri, 38039, Turkey
ORCID ID: 0000-0002-8043-2799

^b Erciyes University, Department of Mechanical Engineering, Melikgazi/Kayseri, 38039, Turkey
ORCID ID: 0000-0001-9722-7938

^c Erciyes University, Department of Mechanical Engineering, Melikgazi/Kayseri, 38039, Turkey
ORCID ID: 0000-0001-6461-4835

^d Erciyes University, Department of Mechanical Engineering, Melikgazi/Kayseri, 38039, Turkey
ORCID ID: 0000-0002-2645-8197

^e Erciyes University, Department of Mechanical Engineering, Melikgazi/Kayseri, 38039, Turkey
ORCID ID: 0000-0002-5413-0412

Abstract

In this study, the ballistic performances of the fiber-metal composite plate with foam core sandwich embedded free particles were numerically investigated. Structures that can change the direction of incoming ammunition in armor designs have always been interesting. Ballistic analyzes of the structures designed with this motivation were carried out with fragment simulated projectile (FSP) under 3 different velocities. The 3D finite element and damage models of the materials were modeled separately, and the analyzes were completed by overcoming the problems encountered in the analysis of the complex structure. The material models of armor system were explained in detail as carbon fiber/epoxy composite plate, aluminum metal plate, PVC foam core material, steel spherical particle and steel fragment simulated projectile. The ballistic behaviors of 2 different types of structures formed according to particle diameter were investigated numerically and the full perforation behavior of the structure formed with small diameter particles was better.

Keywords: "Ballistic behavior, fiber-metal plate, spherical particle, sandwich structure design."

1. Giriş

Havacılık yapısı uygulamalarında minimum ağırlık ve maksimum sertlik elde etmek için sandviç yapı onlarca yıldır kullanılmaktadır. Ne yazık ki bu yapıların birçoğu dayanıklılık ve hasar toleransı ile ilgili büyük sorunlar yaşamıştır. Ancak sandviç yapının başarılı uygulamaları göz ardı edilmemelidir. F-16 programı, inşa edilen her uçakta bir çok düzeneğe çekirdek yapı uygulamıştır. Bazı imalat sorunları yaşanmış ve yatay kuyruk hücum kenarları gibi bazı tertibatlar uçağın çok hasara açık bir bölgesinde olsa da, bu uygulamalarda sorunlar yaşanmamıştır. Bu alandaki potansiyel araştırma, neden belirli sandviç yapı uygulamalarının başarılı olduğu ve diğerlerinin başarısız olduğunu ve belirli sorunlu yapıları belirlemek için düzeltmeler önermektedir. Günümüzde hemen hemen her sektörde yerini alan kompozitler, havacılık, uzay ve otomotiv sektöründe de önemli bir yere sahiptir. Kompozit malzemeler iki veya daha fazla parçadan oluşan bir malzemenin üretilmesi olarak tanımlanırken, bu malzemeler birbirinden farklı fiziksel veya kimyasal özellikte olabilir. Kompozit malzemelerin kullanılmasındaki genel amaç malzemelerin güçlendirilmesi ve kullanılacak alana göre üstün özellikte malzeme üretimi olarak da tanımlanabilir. Son yıllarda, farklı fonksiyonel malzemelerden oluşan çok katmanlı kompozit zırhlar, insan vücudunun ve askeri teçhizatın balistik darbelere karşı korunması için artan bir ilgi görmüştür. Geleneksel koruyucu yapıya kıyasla çok katmanlı kompozit zırhlar, hafif ve yüksek sertlik gibi avantajlara sahiptir. Aramid, elyaf takviyeli kompozitler gibi sentetik kumaşlar, düşük yoğunlukları ve yüksek mukavemetleri nedeniyle hafif zırh sistemlerinin tasarımında giderek daha fazla kullanılmaktadır [1,2]. Fiber kumaşlarla (karbon, cam, kevlar vb.) güçlendirilmiş metaller (alüminyum alaşımları vb.) fiber metal tabakalı kompozitler olarak adlandırılır. Lamine kompozit malzeme, çok katmanlı bir yapı oluşturmak için birbirine yapıştırılan, aynı elyaf takviyeli katların birkaç laminatından veya en az iki farklı malzeme ile hibrit laminattan oluşan kompozit malzemelerden biridir. Hibrit lamine yapı, düşük öz ağırlık ile mukavemeti, yorulma ömrünü, korozyon direncini, sertliği, termal ve akustik yalıtımı önemli ölçüde iyileştirmek için

¹ Corresponding Author
E-mail Address: ucaliskan@erciyes.edu.tr

kullanılabilir [3]. Yaygın laminatlardan farklı olarak, etkili bir balistik kompozit laminat, balistik darbeye direnmek için genellikle iki ana katmandan yapılır, biri nispeten sert bir kaplama plakası ve diğeri nispeten sert bir arka plakadır [4,5].

Zırh sistemi yapılarının tarihsel gelişimine baktığımızda, geleneksel monolitik metalik zırh malzemelerinin sınırlı mühendislik özellikleri nedeniyle seramik ve seramik yüzü kompozitler, güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş polimer kompozitler ve katmanlı ve lamine fonksiyonel zırh yapıları gibi yeni malzemelere yer bıraktığı gözlemlenmektedir [6]. Ayrıca kullanım kolaylığı için malzeme ağırlığı da önemlidir. Malzemenin ağırlığını azaltmak için güç ve özelliklerinden ödün vermeden malzemeler de geliştirilmektedir, bu nedenle kullanıcının hareketi çok fazla etkilenmemelidir. Polimer matris esaslı kompozit malzemeler, hafifliği ve iyi balistik özellikleri nedeniyle metal ve alaşımlı ve seramik malzemelere göre avantajlara sahiptir [7,8]. Balistik özellikler, kinetik enerjinin kişiye zarar vermeden sönmünebilirliğinin ortalaması olarak değerlendirilir. Gelişmiş zırh yapıları, mermiyi aşındırmak ve deforme etmek, sonraki katmanlardaki şok dalgası etkisini azaltmak ve darbe enerjisinin bir kısmını sönmülemek için genellikle yüksek empedanslı ön plakaya sahip çok katmanlı kompozitler olarak tasarlanır. Zırh sistemlerinin balistik performansını, mermiden zırha aktarılan enerjiye bağlı olarak ölçülür. Bu enerji kullanılarak malzemeler, katman kalınlığı, malzemelerin sıralanışı ve yönlerinden etkilenir. Bir mermi zırha ne kadar direnebilirse ve enerjisini olabildiğince küçük bir alanda saklayabilirse merminin zırhı delme ihtimali yükselir. Bu sebeple yapılan zırh çalışmalarındaki amaç merminin enerjisini geniş alanlara dağıtabileceği bir tasarım yapmaktır.

Sandviç yapılar, heyecan verici özellikleri (düşük ağırlık, yüksek enerji emme kapasitesi, yüksek sertlik ve mukavemet / ağırlık oranları, mükemmel ısı yalıtımı, akustik sönmüleme, yangın geciktirme, üretim ve onarım kolaylığı) nedeniyle ileri mühendislik uygulamaları için büyük potansiyel sunmaktadır. Sandviç yapının kompozit bir bileşeni, nispeten ince, yüksek mukavemetli iki yüzey tabakası veya kaplama arasına yerleştirilmiş hafif bir çekirdekte oluşur. Yüz levhaları bükülme yüklerine dayanacak şekilde tasarlanmıştır ve genellikle alüminyum veya elyaf takviyeli polimerlerden yapılır [9-11]. Sandviç yapıların bir diğeri önemli özelliği, büyük enerji sönmüleme kapasitesi ve yüksek hasar toleransıdır. Yüzey levhaları, çekirdek ve her iki bileşenin sayısız kombinasyonu için çeşitli malzeme türleri vardır [12]. Sandviç yapının kompozit bir bileşeni, nispeten ince, yüksek mukavemetli iki yüz levhası veya kaplaması arasına yerleştirilmiş hafif bir çekirdekte oluşur. Fiber metal tabakalı serbest parçacık köpük çekirdekli sandviç yapı malzemeler yüksek enerjili mermilere karşı balistik performans açısından oldukça etkilidir. Literatürde sandviç yapıların kullanıldığı çalışmalar incelenecek olursa bazı araştırmacılar, kompozit plakaların, üç boyutlu katı sonlu elemanlar kullanılarak darbe yüklemesine tepkisini ve sandviç yapıların bu noktada etkisini araştırmışlardır [13,14]. Caliskan ve Apalak [13] yapmış olduğu karbon fiber takviyeli PVC köpük çekirdekli kompozit sandviç kirişlerin eğilme darbesi araştırılması çalışmalarında, eğilme yönüne dik yöndeki fiber açısının daha sert ve mukavemetli olduğu bilinmekle birlikte, diğeri fiber açılarına sahip kirişlerin bükülme darbe yükleri altında hasar toleransları belirlenmiştir. Ayrıca, katman sayısı arttıkça, kompozit yüzey levhalarının hasar mekanizması ve yük taşıma kapasitesi tamamen değişerek eğilme dayanımını arttırdığı görülmüştür. Bu araştırma, yüzey tabakasının fiber açısı ve kalınlığı değiştikçe hasar mekanizmalarının değişimi ve farklı hasar kriterleri kullanılarak sonlu elemanlar yardımıyla yorumlanması açısından temel bilgiler sunmaktadır. Chengjun ve diğlerinin [14] yapmış oldukları "Alüminyum levhalar ve düz dokuma E cam elyaf kompozit katlardan oluşan alüminyum (AL) köpük çekirdekli ve metal elyaf laminat (FML) kaplamalı yeni tasarlanmış sandviç panellerin yüksek hızlı darbe tepkileri" isimli çalışmada sandviç panellerin düşük hızda darbe altında tepkilerini analiz etmedeki etkinliğini ve doğruluğunu kanıtlamak için deneylere karşı bir sonlu elemanlar modeli geliştirilmiş ve doğrulanmıştır.

Yaghoubi ve Liaw [15] çeşitli kalınlıklardaki Glare 5 fiber-metal lamine (FML) kirişlerin balistik darbe davranışları üzerine deneysel ve sayısal araştırmalar yapmışlardır. Darbe ve kalan/geri tepme hızlarını ölçmek ve ayrıca FML'lerdeki hasar gelişimini değerlendirmek için yüksek hızlı bir kamera kullanmışlardır. Kalan hıza karşı gelen mermi çarpma hızını ve balistik limit hızı V_{50} 'nin belirlenmesi için klasik Lambert-Jonas denkleminde göre sayısal olarak hesapladılar. Sonuçlar, V_{50} 'nin metal hacim fraksiyonuna ve numune kalınlığına göre parabolik bir trend içinde değiştiğini gösterdi. Alüminyum katmanlardaki eğilme ve esnemenin yanı sıra ara yüzeydeki ayrılma, GLARE 5 FML kirişlerinde darbe enerjisinin dağıtılmasında önemli roller oynadı. Deneysel olarak elde edilen sonuçları modellemek ve doğrulamak için 3B sonlu elemanlar (FE) kodu, LS-DYNA kullanıldı. Deneysel ve sayısal sonuçlar arasında iyi bir uyum sağlandı. Belirli bir numune konfigürasyonu için, mermi geliş hızını V_{50} 'sine kadar artırarak maksimum temas kuvvetinin arttığı bulundu. Mermi hızını V_{50} 'sinin üzerine daha da artırarak, maksimum temas kuvveti, mermi geliş hızındaki artışa göre nispeten değişmediği sonucunu buldular. Silva vd. [16] Kevlar ile güçlendirilmiş ince kompozit lamine plakalar üzerindeki balistik darbe problemlerini deneysel ve sayısal simülasyonlar ile araştırmışlardır. Balistik etki, farklı kalınlıktaki plakalar üzerinde STANAG-2920'ye uygun olarak tasarlanmış simüle edilmiş parçalarla uygulanmıştır. Limit delme hızı (V_{50}) için bir tahmin elde etmek ve hasar modlarını ve hasarı simüle etmek için sayısal modelleme geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Hesaplamalar ticari bir kod kullanılarak sonlu farklara dayalı olarak yapılmış ve elde edilen değerler deneysel verilerle karşılaştırılarak simülasyonun performansı değerlendirilmiştir. Hesaplamalı simülasyon ve deneysel sonuçlar arasında laminatların hem deformasyonu hem de hasarı açısından iyi bir korelasyon elde edilmiştir. Gelecekteki çalışmalar, bir dış seramik katmanın araya yerleştirilmesinin yanı sıra kuru-ıslak ve sıcaklık döngülerinin plakaların mekanik mukavemeti üzerindeki etkisini ve hızlandırılmış yaşlanma altında zamansal gelişimlerini inceleyecek şekilde geliştirilmiştir. Kosedag ve Ekici [17] SiC takviyeli Al6061 metal matris kompozitlerin farklı takviye hacim oranlarında düşük hızlı ve balistik darbe tepkilerini araştırmışlardır. SiC parçacık hacim oranları %0, %5, %10, %15, %20, %30 ve %40 olan numunelerde düşük hızlı darbe (LVI) testleri, %0 %10, %20 ve %30 hacim fraksiyonlarına sahip numuneler ile balistik testler yapılmıştır. Ortalama 500 m/s hızla fırlatılan mermi ile tüm numuneler üzerinde aynı koşullar altında balistik testler yapılmıştır. Numunelerin balistik direncinin belirlenmesinde, tanık yapılarıdaki mermi penetrasyonları dikkate alınmıştır. Kompozitlerde hem düşük hızlı darbe hem de balistik testin neden olduğu hasar ve deformasyonlar incelenmiştir. Düşük hızlı darbe test sonuçlarına göre, kompozit

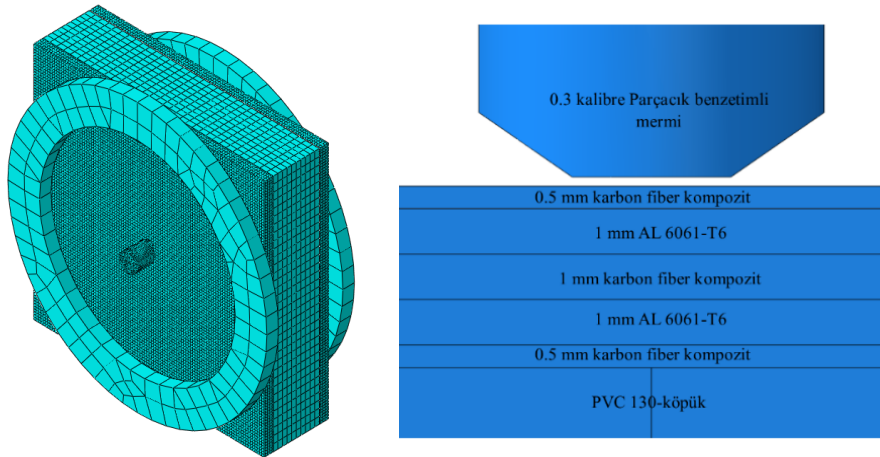
numuneler hacim oranları arttıkça daha az darbe enerjisi absorbe etmiş ve ayrıca takviyesiz örneklere göre üstün performans göstermiştir. Ayrıca çatlak oluşumu ağırlıklı olarak %30 takviye içeren numunelerde gözlenirken, hacim oranı %40 olan kompozit malzeme tamamen kırılmıştır. Takviye hacim oranı artışla birlikte numunelerin balistik direnci önemli ölçüde artmıştır. Kosedag vd. [18] polimer matrisli kompozit malzemelerin darbe direncini artırmak için fiber metal laminat (FML) olarak bilinen yeni bir hibrit malzeme geliştirmişlerdir. Fiber metal laminatlarda (FML'ler) istifleme sırasının, metal hacim oranının ve katman sayısının balistik direnç üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Sıcak pres ve vakum ile farklı sekanslarda ve farklı hacim oranlarında dört tip FML üretilmiştir. Balistik testler tek kademeli gaz tabancası sistemi ile gerçekleştirilmiştir. Soğurulan enerji, FML'lerin merminin giriş ve çıkış hızı ve mermi kütlesi dikkate alınarak oluşan enerji farkından hesaplanmıştır. Balistik testlerin ardından hasar türleri incelenmiştir. Mermi ile ilk karşılaşan metal tabakanın polimer matrisli kompozite göre FML'lerin darbe dayanımı üzerinde daha etkili olduğu ve metal hacim oranının artmasıyla darbe dayanımının arttığı belirlenmiştir. Ayrıca üst katlar aynı kalırsa kat sayısındaki artış darbe dayanımını olumsuz etkilemiştir. Metal hacim oranı miktarı arttıkça balistik darbe dayanımı artmaktadır.

Bu çalışmada ise karbon fiber/epoksi alüminyum metal tabakalı çelik serbest parçacık takviyeli köpük çekirdekli sandviç yapı malzemeler kullanılarak, sayısal yöntemlerle simüle edilmiş optimum koruyucu balistik zırh tasarımı oluşturulmuştur. Fiber-metal plakalı, serbest parçacık takviyeli-köpük çekirdekli sandviç yapıların balistik performansının iyileştirilmesi üzerine yapılan olan çalışmada, en iyi performansı veren sandviç yapısı tasarlanmıştır. Balistik analizler parçacık benzetimli mermi kullanılarak gerçekleştirilmiş olup 3 farklı mermi hızı altında araştırılmıştır. 3 boyutlu sonlu elemanlar kodu kullanılarak yapılan analizlerde tüm malzeme modelleri için hasar kriterleri modellenmiştir.

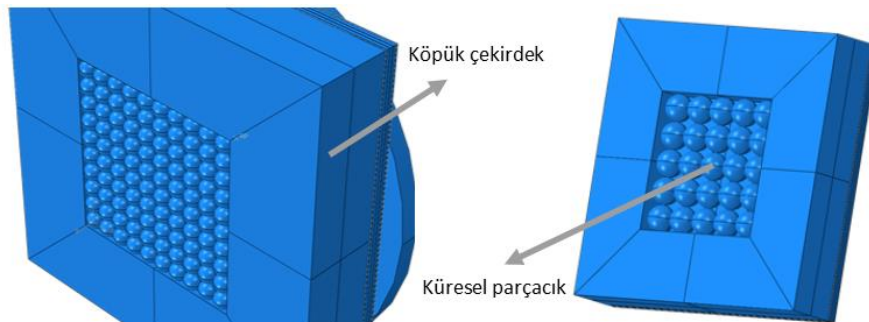
2. Sayısal Model

Fiber-metal tabakalı serbest parçacık-köpük çekirdekli sandviç yapıların balistik performansının iyileştirilmesi için parametreler belirlenmiş ve sayısal model şu şekilde oluşturulmuştur:

- Kompozit plakaların sayısal modeli
- Metal plakaların sayısal modeli
- Köpük malzemesinin sayısal modeli
- Serbest parçacıkların sayısal modeli
- 0.3 kalibre parçacık benzetimli merminin sayısal modeli



Şekil 1. Sayısal model



Şekil 2. a) 1. Tip, b) 2. Tip numune sayısal modeli

Numunelerin balistik davranışlarının sayısal analizleri ABAQUS/Explicit (versiyon 6.14) kullanılarak incelenmiştir. Balistik testler yaklaşık olarak 515, 650 ve 770 m/s mermi hızları altında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada 2 tip numune kullanılmış olup, 1. Tip numune 20 mm köpük kalınlığı ve 5 mm çapında çelik bilye içermektedir. 2. Tip numune 20 mm köpük kalınlığı içerisinde 10 mm çapında çelik bilye içermektedir. Numune boyutları 100x100 mm boyutlarında ve plaka kalınlıkları 4 mm olarak üretilmiştir. Fiber-metal plakalar sırası ilse 0.5mm karbon fiber-1mm Al 6061-1mm karbon fiber-1 mm Al 6061-0.5mm karbon fiber içermektedir (Şekil 1 ve 2).

2.1. Kompozit Plakaların Sayısal Modeli

Bu çalışmada 3 boyutlu lineer olmayan sonlu elemanlar metodu kullanılmış ve her bir malzemenin malzeme modeline karar verilerek gerekli çalışmalar yapılmıştır. Kompozit malzemelerin elastik özelliklerinin tespitinde lamina teorisi kullanılmıştır. Bu çalışmada Abaqus/Explicit sonlu elemanlar yazılımında yer alan ve tabakalı kompozit malzemelerin modellenmesinde çok kullanışlı bir eleman tipi olan continuum shell elemanlar kullanılmıştır. Hesaplama formülasyonu, kabuk eleman teorisine göre çalışan ancak modelle yönteminde katı elemanlar kullanılan ve bu sayede fiziksel katmanları modelleme imkanı veren bir eleman tipidir. Fiber takviyeli kompozit malzemeleri sayısal olarak modellemek için mikro ve makro mekanik analizlerinin yapılması gerekmektedir.

2.1.1. Mikro Mekanik Analiz

Tabakalı kompozitlerin bir tabakanın mikro mekanik analizinde, kompozit yapıyı oluşturan fiber ve matris malzemeleri, malzemenin temel iki yapısını oluşturur. İzotropik malzemelerin aksine bir kompozit malzemedeki davranışı tahmin etmek için matris ve fiber malzemesinin davranışının tahmin edilmesi gerekmektedir. Eğer bir tabakalı ve fiber takviyeli kompozitin mikro mekanik analizi yapılmak isteniyorsa şu varsayımlar yapılmalıdır;

- Matris malzemesi elastik bir davranışa sahiptir ve izotropiktir.
- Fiber malzemesi elastik bir davranışa sahiptir, homojendir ve matrisle benzer şekilde izotropiktir,
- Fiberler kompozit malzeme içerisinde düzenli bir dağılıma sahipken benzer şekilde kusursuz da bir yönlenebilirliğe sahiptir.
- Tabakalı ve fiber takviyeli kompozit malzeme genel olarak ortotropiktir ve elastik bir malzeme davranışı göstermektedir.
- Kompozit malzemenin fiber ve matris yapılarında iç gerilmeler bulunmamakta ve bu malzeler arasında kusursuz ara yüzey bağları bulunmaktadır.

Kompozit malzemedeki mikro mekanik analiz yapılarak elastiklik modülü, poisson oranı ve kayma modülü gibi mekanik özellikler şu şekilde hesaplanır:

a) Tek yönlü bir katmanın fiber yönündeki elastiklik modülünün (E_1) hesaplanması

$$E_1 = E_f V_f + E_m V_m \quad (1)$$

b) Poisson oranının (ν_{12}) hesaplanması

$$\nu_{12} = V_f \nu_f + V_m \nu_m \quad (2)$$

c) Fiber eksenine dik yöndeki elastiklik modülünün (E_2) hesaplanması

$$\frac{1}{E_2} = \frac{1}{E_f} V_f + \frac{1}{E_m} V_m \quad (3)$$

d) Kayma modülünün (G_{12}) hesaplanması

$$\frac{1}{G_{12}} = \frac{1}{G_f} V_f + \frac{1}{G_m} V_m \quad (4)$$

2.1.2. Makro Mekanik Analiz

Fiber takviyeli tabakalı kompozitlerin makro mekanik analizi adını da aldığı tabakaların katman katman yapısal davranışları ile ilgilidir. Yapısal davranışlar ise mikro mekanik analizde anlatılan ortotropik davranışın gerilme-şekil değiştirme analizleri ile açıklanabilmektedir. Tabakaların gerilme-şekil değiştirme analizleri bu bölüme açıklanmaktadır. Yapılan bu analizler kompozitlerin katman katman rijitlik analizleri ile açıklanabilir. Bu analiz esnasında yapılan analizlerde şu esaslar dikkate alınmalıdır;

- Küçük deformasyonlar teorisi dikkate alınır.
- Lineer elastisite teorisi dikkate alınır.
- Düzlem gerilme hali mevcuttur.
- Makroskobik ölçekte katman homojen kabul edilir.

2.1.3. Kompozit Tabakaları için Gerilme-Şekil Değiştirme Bağlılıkları

Yapısal malzemelerin mekanik özelliklerini anlamak için gerilme ve şekil değiştirme dağılımlarını ölçmek önemlidir. Gerilme-şekil değiştirme diyagramı, yük altındaki malzemeleri anlamaya yardımcı olur. Bu diyagramları elde etmek için iki yöntem vardır: temaslı ve temassız; eski durumda mekanik, üniversal makineye bir malzemenin yerleştirildiği, üzerine sürekli bir yük uygulandığı ve ortaya çıkan deformasyonun ölçüldüğü basma testi gibi fiziksel testler yapmaktan üstündür. Optik yöntemler, 1930'da geliştirilen, delik delmenin en çok kullanılan tekniklerden biri olduğu artık gerilme, alan içi yer değiştirmeler ve şekil değiştirmeyi belirlemek için bir yol olarak da kullanılmaktadır. Günümüzde bu teknikler ASTM tarafından standardize edilmiştir.

Bir kompozit malzemede fiber doğrultularında yüksek dayanım mevcuttur. Fiberin tek yönlü veya iki yönlü olması durumuna göre eksenel simetrisi malzeme içerisinde mevcut olabilmektedir. Oluşan bu ilişkiler ile gerilme şekil değiştirme ilişkileri indis notasyonunda şu şekilde yazılabilir;

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl} \varepsilon_{kl} \quad (5)$$

burada σ_{ij} gerilme tensörü, ε_{kl} şekil değiştirme tensörü ve C_{ijkl} rijitlik tensörüdür. Elastiklik matrisi mühendislik sabitleri cinsinden yazılacak olursa;

$$[S_{ij}] = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_1} & -\frac{\nu_{21}}{E_2} & -\frac{\nu_{31}}{E_3} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{12}}{E_1} & \frac{1}{E_2} & -\frac{\nu_{32}}{E_3} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{13}}{E_1} & -\frac{\nu_{23}}{E_2} & \frac{1}{E_3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{23}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{31}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{12}} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Ortotropik bir malzeme için rijitlik matrisi elemanları ise mühendislik sabitleri cinsinden;

$$C_{1111} = \frac{1 - \nu_{23}\nu_{32}}{E_2 E_3 \Delta} \quad (7)$$

$$C_{1122} = \frac{\nu_{12} + \nu_{32}\nu_{13}}{E_2 E_3 \Delta} \quad (8)$$

$$C_{1133} = \frac{\nu_{13} + \nu_{12}\nu_{23}}{E_2 E_3 \Delta} \quad (9)$$

$$C_{2222} = \frac{1 - \nu_{13}\nu_{31}}{E_1 E_3 \Delta} \quad (10)$$

$$C_{2233} = \frac{\nu_{23} + \nu_{21}\nu_{13}}{E_1 E_3 \Delta} \quad (11)$$

$$C_{3333} = \frac{1 - \nu_{12}\nu_{21}}{E_1 E_2 \Delta} \quad (12)$$

$$C_{1212} = G_{12} \quad (13)$$

$$C_{1313} = G_{13} \quad (14)$$

$$C_{2323} = G_{23} \quad (15)$$

Burada;

$$\Delta = \frac{1 - \nu_{12}\nu_{21} - \nu_{23}\nu_{32} - \nu_{31}\nu_{13} - 2\nu_{21}\nu_{32}\nu_{13}}{E_1 E_2 E_3} \quad (16)$$

2.1.4. Hasar Kriterleri

Bir kompozit plakanın mekanik bir etki altında nasıl bir deformasyona maruz kaldığı ve bu deformasyon sonucu plakada oluşabilecek hasarların biçiminin tespiti önem arz etmektedir. Eğer yükleme sonrası plaka üzerinde oluşabilecek hasarlar biliniyorsa kompozit malzeme içeren sistemin tamamen hasara uğramadan önce gerekli önlemler alınabilir. Kompozit malzemelerin hasar modellerinin geliştirilmesi uzun yıllar süren geçmişe sahiptir ve literatürde kullanılabilir birçok teori mevcuttur. Hasar tipleri daha çok tek bir tabakanın gerilme bileşenleri üzerine kurulmuş modellerdir. Bu çalışmada iki boyutlu hasar kriterleri kullanılmıştır [21] ve Tablo 1’de kullanılan kompozit malzemenin mekanik özellikleri verilmiştir.

Fiber çekme hasarı ($\widehat{\sigma}_{11} \geq 0$)

$$F_f^t = \left(\frac{\widehat{\sigma}_{11}}{X^T}\right)^2 + \alpha \left(\frac{\widehat{\tau}_{12}}{S^L}\right)^2 \quad (17)$$

Fiber basma hasarı ($\widehat{\sigma}_{11} < 0$)

$$F_f^c = \left(\frac{\widehat{\sigma}_{11}}{X^C}\right)^2 \quad (18)$$

Matris Çekme ($\widehat{\sigma}_{22} \geq 0$)

$$F_m^t = \left(\frac{\widehat{\sigma}_{22}}{Y^T}\right)^2 + \alpha \left(\frac{\widehat{\tau}_{12}}{S^L}\right)^2 \quad (19)$$

Matris Basma ($\widehat{\sigma}_{22} < 0$)

$$F_m^c = \left(\frac{\widehat{\sigma}_{22}}{2S^T}\right)^2 + \left[\left(\frac{Y^C}{2S^T}\right)^2 - 1\right] \frac{\widehat{\sigma}_{22}}{Y^C} + \left(\frac{\widehat{\tau}_{12}}{S^L}\right)^2 \quad (20)$$

$\widehat{\sigma}_{11}, \widehat{\sigma}_{22}, \widehat{\tau}_{12}$ efektif stres tensörünün bileşenleridir, $\widehat{\sigma}$, başlatma kriterlerini değerlendirmek için kullanılan ve aşağıdakilerden hesaplanan [21] :

$$\widehat{\sigma} = M\sigma \quad (21)$$

σ gerçek stres ve hasar operatörü olduğunda:

$$M = \begin{bmatrix} \frac{1}{(1-d_f)} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{(1-d_m)} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{(1-d_s)} \end{bmatrix} \quad (22)$$

$d_f, d_m,$ and d_s hasar değişkenlerinden türetilen fiber, matris ve kesme hasarını karakterize eden dahili (hasar) değişkenlerdir. $d_f^t, d_f^c,$ and d_m^c daha önce tartışılan dört moda karşılık gelen, aşağıdaki gibi [21]:

$$d_f = \begin{cases} d_f^t & \text{if } \widehat{\sigma}_{11} \geq 0 \\ d_f^c & \text{if } \widehat{\sigma}_{11} < 0 \end{cases} \quad (23)$$

$$d_m = \begin{cases} d_m^t & \text{if } \widehat{\sigma}_{22} \geq 0 \\ d_m^c & \text{if } \widehat{\sigma}_{22} < 0 \end{cases} \quad (24)$$

$$d_s = 1 - (1-d_f^t)(1-d_f^c)(1-d_m^t)(1-d_m^c) \quad (25)$$

Tablo 1. Kompozit malzemelerin (Karbon fiber/epoksi) mekanik özellikleri [20]

| Özellik | Karbon fiber/epoksi |
|---|---------------------------|
| Boyuna elastisite modülü, E_{11} | 150.9 (GPa) |
| Enine elastisite modülü, $E_{22} = E_{33}$ | 11.2 (GPa) |
| Düzlem içi kayma modülü, $G_{12} = G_{13}$ | 5.3 (GPa) |
| Düzlem dışı kayma modülü, G_{23} | 1.4 (GPa) |
| Hacim oranı, V_f | 0.54 |
| Poison oranı, $\mu_{12} = \mu_{13}$ | 0.29 |
| Poison oranı, μ_{23} | 0.33 |
| Yoğunluk | 1710 (kg/m ³) |
| Boyuna çekme mukavemeti, X_T | 1858.3 (MPa) |
| Enine çekme mukavemeti, $Y_T = Z_T$ | 25.4 (MPa) |
| Boyuna basma mukavemeti, X_C | 576.8 (MPa) |
| Enine basma mukavemeti, $Y_C = Z_C$ | 107.3 (MPa) |
| Düzlem içi kayma mukavemeti $S_{12} = S_{13}$ | 79.5 (MPa) |
| Interlaminar kayma mukavemeti, S_{23} | 22.9 (MPa) |

2.2. Metal Plakaların Sayısal Modeli

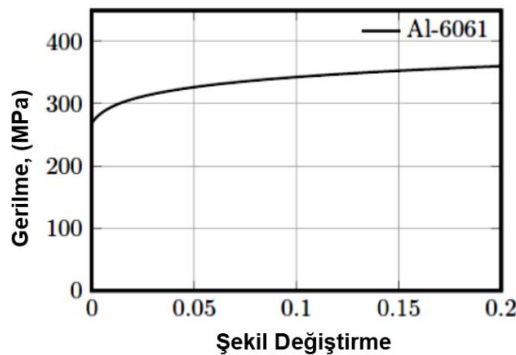
Bu çalışmada kullanılan metal malzemelerin hasar modeli bu bölümde açıklanmıştır. Metal plaka plastik davranışı, penetrasyon ve perforasyon davranışı için Johnson-Cook malzeme modeli kullanılmıştır. Johnson-Cook dinamik hasar modeli, metallerin ABAQUS/Explicit'de sünek hasar kriterini tanımlaması için uygundur. Bu modelin açıklamalarıyla birlikte parametreler, Tablo 2'de verilmiştir. Denklem 1, Johnson-Cook malzeme modeli için akış gerilimini ampirik olarak tanımlar [21].

$$\sigma = [A + B(\varepsilon_p)^n] \left[1 + C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}_p}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] \left[1 - \left(\frac{T - T_a}{T_f - T_a} \right)^m \right] \quad (26)$$

Johnson-Cook dinamik hasar modeli, eleman düğüm noktalarındaki eşdeğer plastik şekil değiştirme değerine dayanmaktadır; hasar parametresi 1'i aştığında arızanın meydana geldiği varsayılır. Hasar parametresi şu şekilde tanımlanır;

$$w = \sum \left(\frac{\Delta \varepsilon_p}{\Delta \varepsilon_{p,f}} \right) \quad (27)$$

burada $\Delta \varepsilon_p$, eşdeğer plastik gerinim artışı, $\Delta \varepsilon_{p,f}$ hasar anındaki şekil değiştirme, ve toplama, analizdeki tüm artışlar üzerinden gerçekleştirilir. Hasar anındaki şekil değiştirmenin, $\Delta \varepsilon_{p,f}$, boyutsuz bir plastik şekil değiştirme hızına bağlı olduğu varsayılır.



Şekil 3. AA 6061 – T6 gerilme şekil değiştirme diyagramı.

$$\varepsilon_{p,f} = \left[d_1 + d_2 \exp \left(d_3 \frac{p}{q} \right) \right] \left[1 + d_4 \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}_p}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] \left(1 + d_5 \left(\frac{T - T_a}{T_f - T_a} \right) \right) \quad (28)$$

burada d1- d5 hasar parametreleridir. Bu hasar kriterinin karşılanması durumunda, deviatorik gerilme bileşenleri sıfıra ayarlanır ve analizin geri kalanı için sıfır kalır. Şekil 3'de AA 6061 – T6 gerilme şekil değiştirme diyagramı verilmiştir.

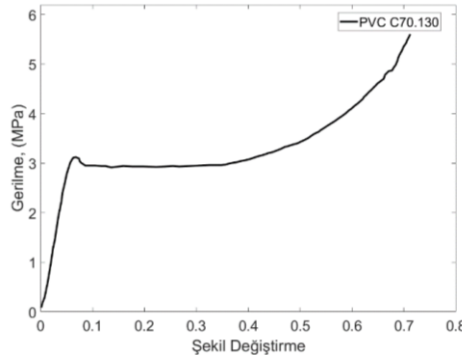
Tablo 2. Alüminyum 6061 T6 malzemesi için Johnson Cook malzeme modeli parametreleri [21]

| Alüminyum 6061 T6 | Johnson-Cook Model |
|---|-----------------------|
| ρ (kg/m ³), Yoğunluk | 2700 |
| E (GPa), Elastiklik modül | 70 |
| ν , Poisson oranı | 0.33 |
| C_p (J/kgK), Özgül ısı kapasite | 910 |
| α (K ⁻¹), Termal rezistans | 2.30×10^{-5} |
| $\dot{\epsilon}$ (s ⁻¹), Referans şekil değiştirme hızı | 597.2 |
| A (MPa), Elastik limit | 270 |
| B (MPa), Plastik davranış için sabit | 154.3 |
| C, Şekil değiştirme hızı hassasiyeti | 0.1301 |
| n, Plastik davranış için sabit | 0.2215 |
| m, Sıcaklık bağımlılığı içeren sabit | 1.34 |
| Tf (K), Malzeme erime sıcaklığı | 925 |
| d1, Model parametresi | -0.77 |
| d2, Model parametresi | 1.45 |
| d3, Model parametresi | 0.47 |
| d4, Şekil değiştirme hızına bağlı hasar parametresi | 0.0 |
| d5, Sıcaklığa bağlı hasar parametresi | 1.6 |

2.3. PVC Köpük Malzemesinin Modellenmesi

Katı bir polimerik köpük, kapalı veya açık hücrelerden oluşabilir. Kapalı hücreli köpükler, sürekli bir makromoleküler faz içinde bitişik hava kabarcıklarının tutulduğu hücrel bir yapıya sahiptir. Örneğin köpük polistiren, tamamen kapalı köpük hücrelerden oluşur. Öte yandan, açık hücreli köpükler, katı makromoleküler faz boyunca "havanın istendiği gibi akması için sürekli kanalların mevcut olduğu bir hücrel ağa sahiptir. Poliüretan koltuk minderleri, açık hücreli köpüğün çok iyi bir örneğidir. Kapalı hücreli köpükler genellikle serttir, açık hücreli köpükler ise genellikle esnekler. Polimerik köpüklerin çoğu, ekstrüzyon, sıkıştırılmalı kalıplama, enjeksiyonlu kalıplama, reaksiyon enjeksiyonlu kalıplama, katı hal yöntemi bilinen birkaç köpükleme tekniğinden biri ile üretilir.

Günümüzde sandviç malzemelerin çekirdek yapısını oluşturan malzemeler oldukça popüler hale gelmiştir. Sandviç malzemelerin dayanımı arttırırken hafiflikte sağlamak ileri mühendislik malzemeler ile mümkündür. Bu çekirdek malzemeler arasında ise geniş bir kullanım alanına sahip olan en önemli malzemelerden biri ise polimerik köpük malzemeleridir. Polimerik köpük malzemelerinin geniş bir kullanım alanına sahip olmasına neden olan en önemli özellikleri; elastikiyet, hafiflik, rijitlik, yüksek gözeneklilik, yüksek çarpışma ve iyi enerji sönmleme yeteneğidir. Polimerik köpük malzemelerinin mekanik özellikleri köpük yapısına, köpük yoğunluğı ve geometrik özelliklerine göre değişim göstermektedir. Sandviç yapılarda kullanılan polimerik köpük malzemeleri ile ilgili elastik ve plastik davranışı modellemek üzere farklı sonlu elemanlar malzeme modelleri mevcuttur. PVC C70.130 köpük malzemesinin tek eksenli basma testi sonucu gerilme şekil değiştirme eğrisi Şekil 4'de verilmiştir. Bu çalışmada kapalı hücreli PVC köpük malzemesi ABAQUS'ta modellemek için, 'Crushable Foam' modeli kullanılmıştır. Bir kapalı hücreli köpük malzemesinin akma yüzeyi şu şekilde tariflenmiştir [21].

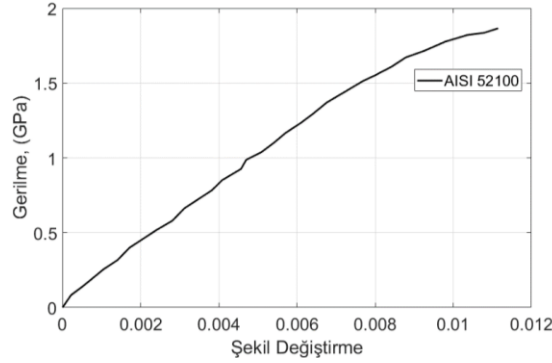


Şekil 4. PVC C70.130 köpük malzemesinin gerilme şekil değiştirme diyagramı

2.4. Çelik Bilyelerin ve Parçacık Benzetimli Merminin Sayısal Modeli

Savunma sanayisi sahip olduğu güç nedeniyle büyük önem taşıdığından teknolojik gelişmelere paralel olarak sürekli iyileştirme, yenilik ve modernizasyon gerektirmektedir. Zırh teknolojilerine yönelik artan ve yeni tehdit seviyeleri, zırh sistemlerinin daha çözüm odaklı ve yenilikçi olmasını zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle, savunma teknolojilerindeki sivil ve

askeri aktörler, düşük ağırlığın yanı sıra yüksek performans ve hareket kabiliyeti elde etmek için yeni zırh sistemleri geliştirmek için durmaksızın çalışıyorlar. Yüksek performanslı balistik koruma sistemleri genellikle farklı malzeme katmanlarından oluşur ve her katman mermi enerjisinin zayıflamasında belirli bir rol sağlar. Tipik olarak, mermi çarpma yüzüne seramik veya yüksek sert çelik gibi sert bir malzeme yerleştirilir ve arka plaka olarak daha yumuşak bir polimer matris kompoziti kullanılır. Vuruş yüzünün rolü, mermiyi erozyon, kırılma ve yuvarlanma yoluyla yavaşlatmak ve düşürmektir, daha yumuşak arka plaka ise merminin ve parçalarının artık kinetik enerjisini emerek onu hareketsiz hale getirmektedir.

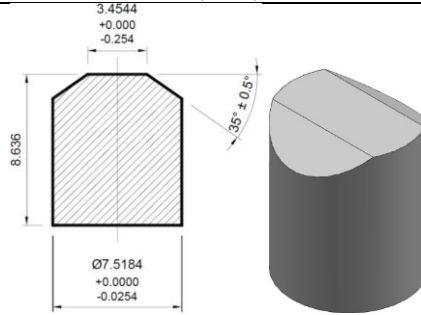


Şekil 5. AISI 52100 çelik malzemesinin gerilme şekil değiştirme eğrisi

Çelik bilyeler AISI 52100 çeliğinden imal edilmiş olup mekanik özellikleri tedarik edici firmadan temin edilmiştir. Katı elemanlar ile modellenen yapının davranışı elasto-plastik modellenmiş olup gerilme-şekil değiştirme tarif edilmiştir (Şekil 5). Hasar şekil değiştirmesi tariflenmiştir. 0.3 kalibre parçacık benzetimli mermi (FSP) 4340 çeliğinden imal edilmiş olup teknik resmi ve katı modeli Şekil 6'da verilmiştir. Mekanik özellikleri ise Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Parçacık benzetimli mermi mekanik özellikleri

| Özellik | Değer |
|-----------------------------|-------|
| Yoğunluk, kg/m ³ | 7850 |
| Elastiklik Modülü, GPa | 200 |
| Poisson Oranı | 0.29 |
| Akma Gerilmesi, (MPa) | 745 |

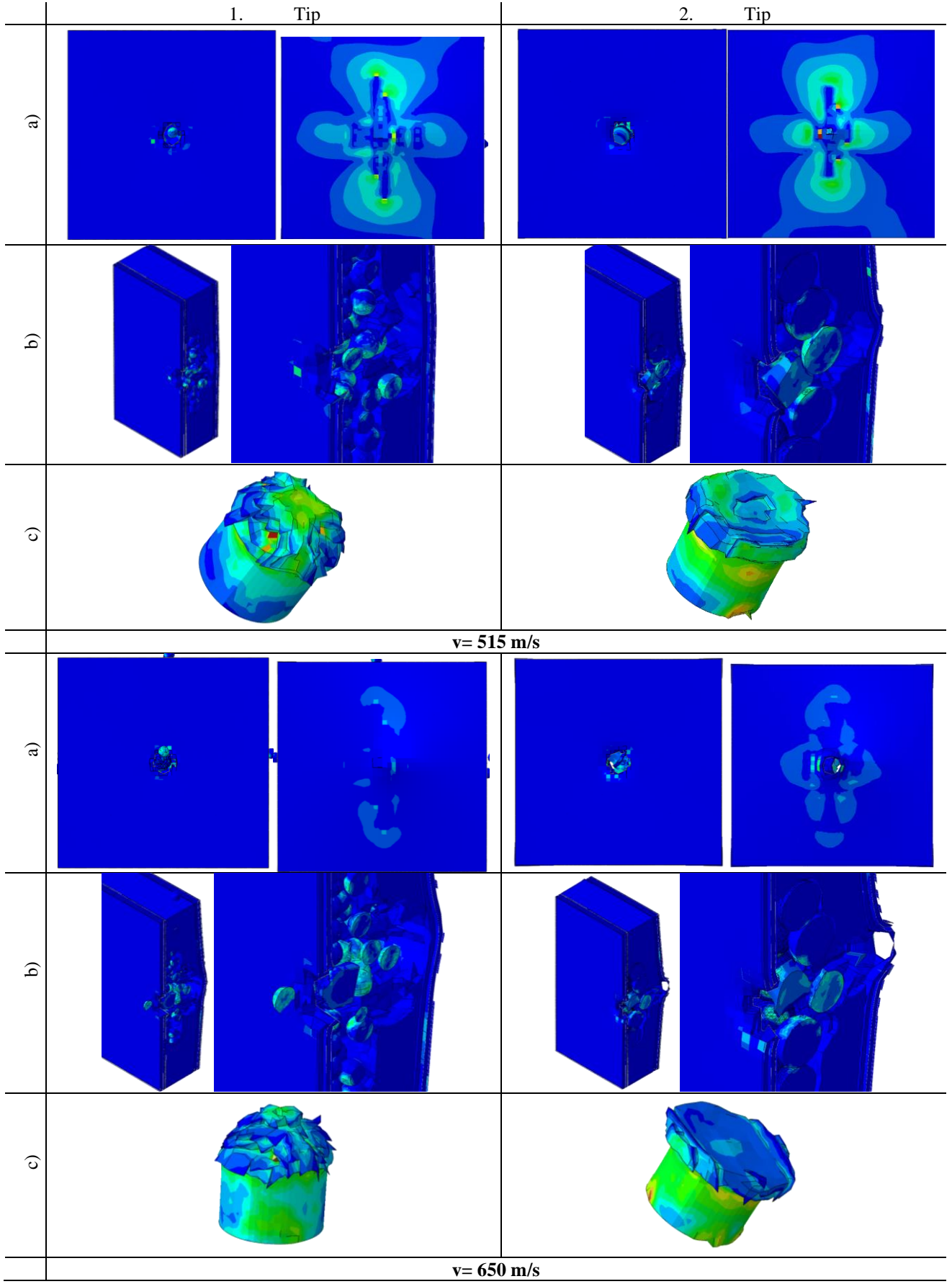


Şekil 6. Parçacık benzetimli mermi teknik resmi ve katı modeli

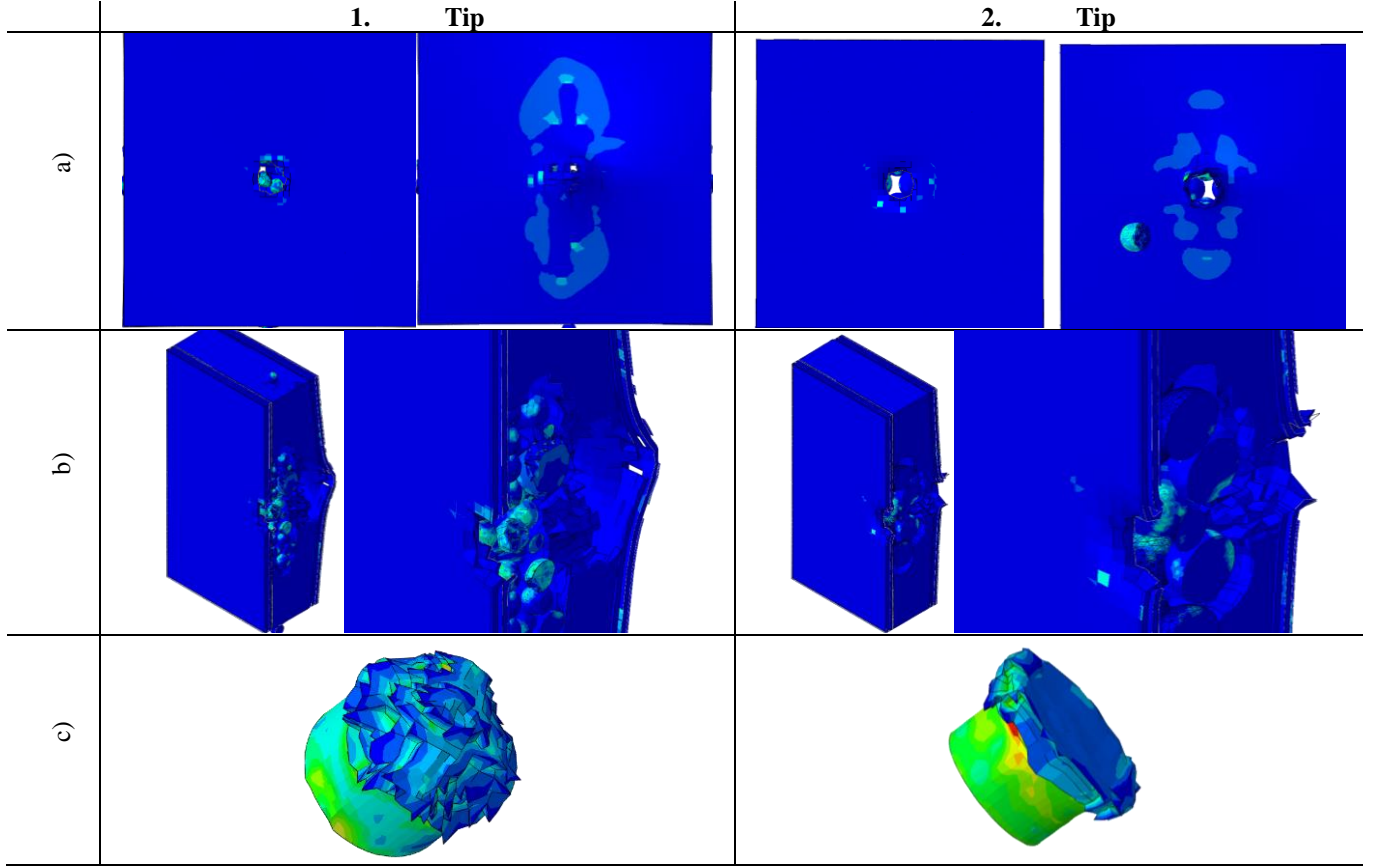
3. Sayısal Sonuçlar

Yüzey plakaları karbon fiber/epoksi kompozit-alüminyum metal plaka olan serbest küresel çelik parçacık takviyeli köpük çekirdekli sandviç yapıların balistik davranışları bu araştırma kapsamında sayısal olarak araştırılmıştır. Balistik davranış araştırmasında 0.3 kalibre parçacık simule mermi (FSP) kullanılmıştır. Analizde kullanılan tüm malzemelerin sonlu elemanlar malzeme modelleri yukarıdaki bölümlerde açıklanmıştır. Oluşturulan 2 farklı tipteki yapının 515, 650 ve 770 m/s hızları altında analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapıların tasarım parametrelerinin başında yüksek hızda gelen merminin yön değiştirerek tahrip gücünün azaltılması amaçlanmaktadır.

Şekil 7, 515 m/s mermi hızı için 1. ve 2. Tip numunenin, mermi yönünden, arkadan, kesit, yakın kesit, ve merminin gerilme dağılımları ve deformasyon görüntülerini göstermektedir. 1. Tip numunede yüksek yoğunluklu köpük malzeme içerisinde 5 mm çapında çelik bilyeler mevcuttur. 2. Tip numunede ise 10 mm çelik bilyeler mevcuttur. Yüzey plakalarının metal ve çelik olması perforasyon davranışının önlenmesinde önemli bir role sahiptir. Merminin ilk temas ettiği bilyenin konumu balistik davranışın belirlenmesi açısından yüksek öneme sahip olan diğer husustur.



Şekil 7. 515 ve 650 m/s mermi hızı için 1. ve 2. Tip numunenin, a) mermi yönünden ve arkadan, b)kesit, c)mermi gerilme dağılımları ve deformasyon görüntüleri



Şekil 8. 770 m/s mermi hızı için 1. ve 2. Tip numunenin, a) mermi yönünden ve arkadan, b)kesit, c)mermi gerilme dağılımları ve deformasyon görüntüleri

515 m/s mermi hızı altında yüksek çapa sahip olan numunenin arka yüzeyinde kısmi penetrasyon ortaya çıkmıştır. Mermi geometrisi incelendiğinde ise daha küçük çaplı parçacıklı numunede mermi her yönden etkiye maruz kalmış ve deforme olmuştur. Daha yüksek çaplı numunede ise mermi tek yönlü deformasyona maruz kalmış ve çelik bilyeleri hareket ettirerek numune dış yüzeylerine hasar vermesini sağlamıştır. Detaylı kesit görüntülerinde hasar mekanizmaları görülmektedir. Renklendirme spektrumu gerilme dağılımını göstermektedir. Her iki numunenin arka yüzeyinde hasar meydana gelse de 10 mm çaplı parçacıklı numunenin arka yüzeyinde daha yüksek hasar meydana gelmiştir.

Şekil 7’de 650 m/s hızında 0.3 kalibre simüle mermi ile 1. ve 2. Tip numunelerin balistik analizlerinin gerilme dağılımlarını ve deformasyon görüntüleri göstermektedir. Hız artışı ile 2. Tip numunede (10 mm çaplı parçacıklı numune) tam perforasyon meydana gelmiştir ve numune delinmiştir. Daha küçük çaplı numunede ise parçacık amaçlanan etkiyi göstermiştir. Küresel parçacık hareketleri ile mermi hızı azaltılmıştır. Köpük malzemesindeki hasarlar bu hız seviyesinde daha yüksektir. 2. Tip numunedeki delinmenin bir diğer nedeni yüksek çaplı bilyenin numune içerisindeki hareketi sayesinde. Yapıdan mermi çıkışı olmamıştır. Küçük çaplı bilyeler hareket ederek enerjileri sönmülmüş yapı dışına çıkış olmamıştır. 1. Ve 2. Tip numunelerin 770 m/s mermi hızı altındaki analizleri Şekil 8’de verilmiştir. Hız artışı etkisi bu yapılarda daha belirgin bir şekilde gözükmektedir. 2. Tip numunede malzemenin arka yüzünde hasar artmıştır ve mermi deformasyonu artmıştır. Ancak bu hız altında 1.tip numunede hala tam perforasyon meydana gelmemiştir. Fiber-metal yüzey plakasının etkisinin önemi bu hız altında daha belirgindir. Köpük malzemesinin deformasyonu üst seviyededir, parçacıkların yüksek hızlı hareketi ile köpük malzemesi deforme olmuştur. 1. Tip numunenin arka yüzeyinde hız artışı ile penetrasyon artmıştır, hasar oluşumu daha belirgindir. Yapılan tasarım ile dayanımı düşük olan malzemelerinin bir araya gelmesi ve kısmi parçacık kullanımı ile balistik davranışının üst seviyede geliştiği açıktır.

4. Tartışma ve Yorum

Sayısal yöntemde analizler ABAQUS/Explicit 3 boyutlu sonlu elemanlar yazılımında gerçekleştirilmiştir. Metal plakalar, küresel parçacıklar ve köpük malzemesi non-linear olarak modellenerek gerilme ve şekil değiştirme diyagramları kullanılmıştır. Kompozit plakalar kabuk eleman teorisine göre modellenmiş olup Hashin hasar kriterleri kullanılmıştır. Köpük malzemesi olarak PVC AIREX C.130 köpük malzemesi seçilmiş olup, ‘crushable foam’ malzeme modeli ile modellenmiştir. Yapıştırıcı malzemesinin balistik açıdan etkisinin çok küçük olduğu ön çalışmalar neticesinde belirlenmiş olup, modellenmesi gerekli görülmemiştir. Balistik davranışlar 0.3 kalibre parçacık simüle mermi kullanılarak 515, 650 ve 770 m/s hızları altında araştırılmıştır. 2 farklı tip yapı tasarlanmıştır. Yüzey plakaları fiber-metal plaka ile sandviç yapı oluşturulmuştur. Oluşturulan

sandviç yapının köpük çekirdek içerisine gömülü farklı çaptaki (5 ve 10 mm) küresel parçacıklar ile balistik performansı sayısal olarak incelenmiştir. Analizler sonucunda 5 mm çapı küresel parçacıklara sahip yapının (1. Tip) daha iyi perforasyon davranışı gösterdiği görülmüştür. Büyük çaplı parçacıklar yapıdan çıkış göstermiştir. Mermi çıkışı olmamıştır ancak küresel parçacıklar mermi etkisi ile yapıyı perfore etmiştir. Küçük çaplı parçacıkların kendi içerisinde hareketleri ile mermi enerjisi ve parçacıkların enerjisi sönümlenmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK 2209-A programı kapsamında desteklenmiş olup, yazarlar çalışmanın gerçekleştirilmesindeki katkılarından dolayı Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK)'a teşekkür eder.

Referanslar

- [1] H. N. Long, R. Shannon, J. C. Stephen, P. M. Adrian and C. O. Adrian, "The effect of target thickness on the ballistic performance of ultra high molecular weight polyethylene composite", *International Journal of Impact Engineering*, vol. 75, p. 174-183, 2015.
- [2] C. Sipei, L. Jun, Z. Pan, L. Chunpeng and C. Yuansheng, "Dynamic response of sandwich panels with multi-layered aluminum foam/ UHMWPE laminate cores under air blast loading", *International Journal of Impact Engineering*, vol. 138, p. 103475, 2020.
- [3] R. M. Jones, "Mechanics of composite materials". London: Taylor & Francis, 1999.
- [4] K. Krishnan, S. Sockalingam, S. Bansal and S. D. Rajanb, "Numerical simulation of ceramic composite armor subjected to ballistic impact", *Composites Part B: Engineering*, vol. 41, p. 583-593, 2010.
- [5] M. L. Wilkins, "Mechanics of penetration and perforation", *International Journal of Engineering Science*, vol. 16, p. 793-807, 1978.
- [6] I. Crouch, "12 - the future of armour materials", *The Science of Armour Materials*, Woodhead Publishing in Materials, Woodhead Publishing, p. 675-692, 2017.
- [7] T. Nieberle, S. R. Kumar, A. Patnaik and C. Goswami, "Review: Composite Materials for Armour Application", in: *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, Springer Singapore, p. 239-248, 2021.
- [8] T. Singh, A. Patnaik, B. K. Satapathy and M. Kumar, "Performance analysis of organic friction composite materials based on carbon nanotubes-organic-inorganic fibrous reinforcement using hybrid AHP-FTOPSIS approach", *Composites: Mech., Comput. Appl. Int. J. Vol. 3*, p. 189-214, 2012.
- [9] H. Wang, K. R. Ramakrishnan and K. Shankar, "Experimental study of the medium velocity impact response of sandwich panels with different cores". *Mater Design*, vol. 99, p. 68-82, 2016.
- [10] J. Zhou, M. Z. Hassan and Z. Guan, "The low velocity impact response of foam-based sandwich panels", *Compos Sci Technol*, vol. 72, p. 1781-1790, 2012.
- [11] Y. Chen, S. Hou and K. Fu, "Low-velocity impact response of composite sandwich structures: modelling and experiment", *Compos Struct.* vol. 168, p. 322-334, 2017.
- [12] V. Crupi, E. Kara and G. Epasto, "Prediction model for the impact response of glass fibre reinforced aluminium foam sandwiches", *Int J Imp Eng*, vol. 77, p. 97-107, 2015.
- [13] U. Caliskan and M. K. Apalak, "The response of pin-clamped carbon fibre-reinforced plastics composite sandwich beams with polyvinylchloride foam core under bending impact", *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, vol. 39, p. 384-405, 2020.
- [14] L. Chengjun, Y. X. Zhang, Jing Li, "Impact responses of sandwich panels with fibre metal laminate skins and aluminium foam core", *Composite Structures*, vol. 182, p. 183-190, 2017.
- [15] A.Seyed Yaghoubi and B.Liaw, "Thickness influence on ballistic impact behaviors of GLARE 5 fiber-metal laminated beams: Experimental and numerical studies", *Composite Structures*, vol. 94, p. 2585-2598, 2012.
- [16] M.A.G.Silva, C. Cismaşiu, C. and G. Chiorean, "Numerical simulation of ballistic impact on composite laminates", *International Journal of Impact Engineering*, vol. 31, p. 289-306, 2005.
- [17] E. Kosedag ve R. Ekici, "Low-velocity and ballistic impact resistances of particle reinforced metal-matrix composites: An experimental study", *Journal of Composite Materials*, vol. 56(7), p. 991-1002, 2022.
- [18] E. Kosedag, M. Aydin, R. Ekici, "Effect of stacking sequence and metal volume fraction on the ballistic impact behaviors of ARALL fiber-metal laminates: An experimental stud", *Polymer Composites*, vol. 43(3), p. 1536-3545, 2022.
- [19] Abaqus/Explicit (version 6.14), User's manual, finite element software. available from <http://www.simulia.com>.
- [20] K. K. Namala, P. Mahajan and N. Bhatnagar, "Digital image correlation of low-velocity impact on a glass/epoxy composite", *International Journal for Computational Methods in Engineering Science and Mechanics*, vol. 15, p. 203-217, 2014.
- [21] A. Manes, F. Serpellini, M. Pagani, M. Saponara, and M. Giglio, "Perforation and penetration of aluminium target plates by armour piercing bullets". *International Journal of Impact Engineering*, vol. 69, p. 39-54, 2014

The Role of Sustainable Forest Management in Achieving Land Degradation Neutrality Target

Özlem Yavuz ^{a,1}, Pınar Topçu ^b, Ahmet Tolunay ^c

^a İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi, Ormancılık Politikası ve Yönetimi Anabilim Dalı, İstanbul, 34473 Türkiye
ORCID ID: : 0000-0002-1963-8309

^b Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Ankara, 06110 Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-4701-3007

^c Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, Isparta, 32260 Türkiye
ORCID ID: 0000-0001-9028-9343

Abstract

The rapidly increasing human population and the needs rise the threats to the future of the world. In order to avoid this situation, all countries come together under the umbrella of the United Nations (UN) and seek common solutions to this issue. One of these solutions is Land Degradation Neutrality (LDN), which was founded under the aim of the “Life on Land” number 15 of the Sustainable Development Goals (SDGs) and was embodied in UNCCD COP 12 in 2015. So much so that the LDN, by looking at the environmental problems experienced in a high dimension, adopted firstly the prevention of land degradation, then its reduction and the recovery of lost lands. At this point, Sustainable Forest Management (SFM) is of great importance. This study has been prepared to indicate the importance of the SFM to reaching the LDN target.

Keywords: “Land, degradation, sustainability, forestry, policy.”

1. Giriş

Hızlı nüfus artışı ve buna bağlı olarak artan gıda talebi ile diğer ihtiyaçlar karşısında, sınırlı miktardaki arazi kaynakları üzerinde önemli derecede baskı yaşanmaktadır. Zira, dünyadaki toplam kara alanının neredeyse dörtte birinin tahrip edilmiş olması [1] sadece günümüzün değil, gelecek nesillerin de ileride nasıl bir doğal kaynak problemiyle karşı karşıya kalacağı konusunda daha kapsamlı düşünmeyi ve aksiyon almayı gerektirmektedir.

Orman varlığının hızlı bir şekilde azalması, çölleşmenin ve atmosferdeki karbon gazı oranının giderek artmasıyla küresel ısınma tehdidi ve diğer çevresel bozulmalar endişe verici boyutlara ulaşmıştır. Bu durum, ormanların dünya gündemindeki haklı yerini almasına ve orman varlığının korunmasına yönelik uluslararası alanda çalışmaların yoğun bir şekilde yürütülmesine sebebiyet vermiştir. Öyle ki, Birleşmiş Milletler (BM) 2030 gündemi ve sürdürülebilir kalkınma amaçları (toprak, iklim değişikliği, yoksulluk) ormancılık sektöründe sürdürülebilirliğin sağlanması için önemli bir araç olarak görülmekte ve Sürdürülebilir Orman Yönetimi (SOY) kavramı ortaya çıkmaktadır [2].

Diğer taraftan, küresel ölçekte kullanılabilir arazinin % 24’ü bozulmuş durumda olup, 2025 yılına kadar 1.8 milyar insanın mutlak su kıtlığı yaşanan bölgelerde yaşayacağı öngörülmektedir. Bu perspektifte Arazi Tahribatının Dengelenmesi (ATD), arazi kullanımını dengede tutmak için uzun vadeli bir taahhüt olarak değerlendirilmektedir.

¹ Corresponding Author
E-mail Address: ozlemyavuz2021@gmail.com

2. Temel Kavramlar

2.1. Arazi Tahribatının Dengelenmesi (ATD)

Newyork'ta 25 Eylül 2015 tarihinde düzenlenen Sürdürülebilir Kalkınma Zirvesi'nde Birleşmiş Milletler (BM)'e üye devletler, 2030 yılına kadar gerçekleştirmek amacıyla 17 adet Sürdürülebilir Kalkınma Amacında (SKA) mutabık kalmışlardır. SKA'lar arasında 15 numaralı amaç doğrudan karasal ekosistemle ilgilidir. Çölleşme ve arazi tahribatıyla mücadele, orman varlığının sürdürülebilir yönetimi, biyolojik çeşitliliğin korunması gibi çalışmalar bu amaç altında yer almaktadır. Bunlardan 15.3 alt hedefi; *“2030 yılına kadar, çölleşme ile mücadele edilmesi, çölleşme, kuraklık ve sellerden etkilenen araziler dâhil bozulmuş arazi ve toprakların rehabilite edilmesi, dünyanın arazi tahribatının dengelenmesinde (ATD) çaba göstermesi,”* olarak kabul edilmiştir. SKA doğrultusunda ATD kavramı, yenilenen “UNCCD 2018-2030 Strateji Çerçevesi” kapsamında ele alınmış ve stratejik amaçlar bu doğrultuda güncellenmiştir [3]. Türkiye, Ekim 2015'te COP 12'de alınan karar gereği “ATD Hedef Belirleme Programı”na katılarak 2030 yılına kadar orman, mera ve tarım alanlarında ATD ulusal hedeflerini belirlemiş, ilgili kurum ve kuruluşların katkılarıyla “Türkiye Arazi Tahribatının Dengelenmesi Ulusal Raporu (2016-2030)” hazırlanmıştır.

ATD, bozulmamış arazilerin tahribata uğramasıyla ortaya çıkan ve sürekli olarak arazi kaybının durdurulmasını amaçlayan bir girişimdir. Diğer yaklaşımlardan farklı yanı ise bir taraftan arazinin kaybindan kaçınmaya veya kaybin azaltılmasına odaklanırken, öte yandan tahrip edilen arazinin iyileştirilerek bir arazi tahribatı dengeleme başarısı sağlanmaya çalışılmasıdır. Buradaki gaye, verimli ve sağlıklı arazilerde net kayıp yaşanmasına mani olacak bir durumu başarabilmek için kayıplarla kazançların dengelenmesi esasıdır [4].

ATD yaklaşımı genel olarak; *“ekosistem hizmetlerini gerçekleştirmek ve gıda güvenliğini sağlamak için gerekli olan arazi kaynaklarının miktarının ve kalitesinin belli bir zamansal ve mekânsal ölçek içerisinde değişmeden kalması ya da artması”* olarak tanımlanmaktadır. Bu açıdan ATD arazi tahribatıyla mücadelede yeni bir yaklaşım olarak gündeme girmiştir. Bu hususa ek olarak, “Karasal Yaşam”a ilişkin hedeflere ulaşmak, sadece arazi tahribatının önlenmesini değil, yoksullukla mücadele edilmesini, gıda güvencesinin sağlanmasını, iklim değişikliğine uyumun sağlanmasını, biyolojik çeşitliliğin ve su kaynaklarının korunmasını da sağlayacaktır. ATD'nin izleme göstergeleri; “arazi kapalılığı ve bitki örtüsünün değişimi”, “arazi verimliliği” ile “toprak üstü ve toprak altı karbon stoku”dur [5]. ATD göstergeleri baz alınarak hazırlanan ATD hedefleri belirlenerek hem yapılan çalışmalar hem de arazi tahribatı eğilimleri de izlenmiş olacaktır.

Arazi tahribatı küresel, bölgesel ve bölgesel ölçekte yaşanan olgular olup, insanların yanı sıra doğal kaynakları ve içerisinde bulundurduğu canlıları da olumsuz yönde etkilemektedir. Bu kapsamda, ATD'nin mevcut durumu ve eğilimleri konusunda bilgi sahibi olmak, yaşanan olumsuz gelişmeleri tersine çevirebilmek ve yapılan çalışmalardan elde edilen olumlu neticeleri iyi uygulamalar olarak yaygınlaştırmak son derece önemlidir. Bu da ancak iyi bir ATD izleme sistemi ile mümkündür. Bu sistem, arazi tahribatını tespit etme, çölleşme ve arazi tahribatı ile mücadele ve ATD hedeflerine yönelik kaydedilen ilerleme ile arazi tahribatı eğilimlerini izleme kapasitesine sahip olmalıdır [6].

Diğer taraftan, ATD müdahale hiyerarşisine göre orman alanları göz önüne alındığında, doğal ve bozulmamış ormanların bozulmasının önlenmesi de önceliktir. Halihazırda mevcut ormanlarda gençleştirme veya zenginleştirme ekimi çalışmaları, biyoçeşitliliği korumak ve karbon depolamak için stratejik öneme sahiptir. Ayrıca, Sürdürülebilir Orman Yönetimi (SOY) ve orman ve peyzaj restorasyonu (Forest Landscape Restoration-FLR) da ATD'nin bir parçasıdır [7].

2.2. Sürdürülebilir Orman Yönetimi (SOY)

Sürdürülebilir Orman Yönetimi (SOY), 1993 yılında gerçekleştirilen Helsinki Zirvesi ile ortaya çıkmıştır. Avrupa Ormanlarının Korunması 2'nci Orman Bakanları Konferansı (The 2 nd Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe-Forest Europe) ile SOY kavramı tanımlanmıştır. Bu çerçevede SOY; *ormanların ve orman alanlarının yerel, ulusal ve küresel düzeylerde, biyolojik çeşitliliğini, produktivitesini, kendini yenileme kabiliyetini ve yaşama enerjisini, ekolojik, ekonomik ve sosyal fonksiyonlarını yerine getirebilme potansiyelini şimdi ve gelecekte koruyacak ve diğer ekosistemlere zarar vermeyecek bir şekilde düzenleme ve yararlanma biçimidir* [8]. Geniş kapsamda SOY, toplumun uzun vadede ormanların hangi yönlerinin, hangi bileşenlerinin hangi işlevlerinin muhafaza edileceğini ve hangilerinden yararlanılacağını tanımladığı bir kavram olmaktadır [9].

SOY, ormanların ve orman alanlarının yerel, ulusal ve küresel düzeylerde, biyolojik çeşitliliğini, verimliliğini, kendini yenileme kabiliyetini ve yaşama enerjisini, ekolojik, ekonomik ve sosyal fonksiyonlarını yerine getirebilme potansiyelini şimdi ve gelecekte her türlü tehdit ve tehlikelere karşı güvence altına almayı öngörmektedir [10]. Özünde bütün “tarım” ve “orman” sektörüne yönelik faaliyetlerdeki temel yaklaşım “sürdürülebilir yönetim anlayışı” olmalıdır. Bu perspektifte, uluslararası platformdaki güncel gelişmeler yakinen takip edilmeli ve elde edilen deneyim ve bilgiler karasal ekosistemleri içeren tüm ulusal ölçekteki politika belgelerine yansıtılmalıdır [11].

SOY kavramı, uluslararası süreçler sonunda kalkınmanın sürdürülebilirliğini sağlamak için ormanların en verimli ve sürekli nasıl kullanılacağını belirleyen ilkeler bütünüdür. Söz konusu yönetim anlayışı ile ormanların korunmasının yanı sıra ormanlardan sürekli ve çok yönlü yararlanma amaçlanmaktadır. Türkiye, bu uluslararası işbirliği sürecine başından beri katılım sağlamış ve ormancılık politikalarını SOY ilkelerine göre şekillendirmiştir. Ancak, Türkiye'nin hala SOY ilkelerini tam anlamıyla uygulamasına yönelik darboğazları bulunmaktadır. Bu durumun en önemli nedenleri arasında SOY kriter ve göstergelerin doğru belirlenip uygulanmasında yaşanan sorunlar, hala geçilemeyen orman sertifikasyon sistemi ve uygulamada yetersiz kalan katılımcılık yer almaktadır.

3. Mevcut Durum ve Sorunlar

3.1. Türkiye'de ATD'nin Mevcut Durumu

Türkiye ATD Ulusal Hedef Raporu kapsamında 2030 yılı Türkiye ATD hedefleri belirlenmiştir. Buna göre, 2030 yılına kadar 1.000.000 hektar ağaçlandırma, 750.000 hektar mera ıslahı ve 2.000.000 hektar tarım alanları ıslahının yapılması öngörülmüştür [12]. Bu bilgiler doğrultusunda, ulusal ATD hedefleri doğrultusunda ağaçlandırma, rehabilitasyon, erozyon kontrolü ve mera ıslahı çalışmalarına Tablo 1'de yer verilmiştir. ATD için Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü (ÇEM), ilgili kurum kuruluşlar ve akademisyenler ile yürütülen çalışmalar ise aşağıda maddeler halinde sıralanmaktadır.

- Havza izleme ve değerlendirme sistemi projesi (HİDS),
- Türkiye çölleşme modeli ve risk haritası projesi (TÇM),
- Potansiyel ağaçlandırma sahalarının belirlenmesi projesi (POS),
- Arazi verimliliğinin değerlendirilmesi projesi (Collect Earth),
- Türkiye toprak organik karbonu modeli ve haritalanması (TOK),
- Ulusal arazi örtüsü/kullanımı izleme sistemi projesi (UASİS),
- Toprak bilgi sistemi, rüzgâr erozyonu izleme sistemi ve dinamik su erozyon izleme sistemi.

Tablo 1. Ulusal ATD hedefleri doğrultusunda ağaçlandırma, rehabilitasyon, erozyon kontrolü ve mera ıslahı çalışmaları

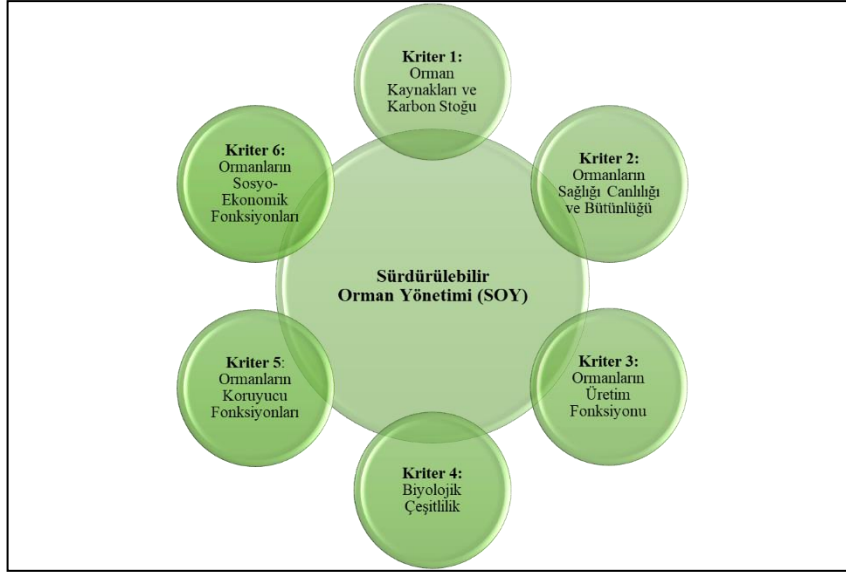
| Negatif Eğilim | Alan | | Düzeltilici Önlemler | ATD Hedefleri | | |
|---------------------------------------|---|---|--|-----------------|---------|-------------|
| | Collect Earth (2001-2015) | (EC-JRC) (2000-2010) (km ²) | | Birim | Miktar | Zaman (yıl) |
| Orman alanlarının azalması | +11.542 (Amenajman plan verisine göre artmıştır. 2001-2015) | | Ülke orman alanının artırılması | % | 5 | 2030 |
| | | | Ağaçlandırma | km ² | 6.000 | |
| | | | Toprak muhafaza ağaçlandırması | km ² | 9.000 | 2019 |
| | | | Maden sahalarının rehabilitasyonu | km ² | | |
| Orman alanlarında verimlilik azalması | 2124.9 | | Orman suç sayısının azalması | adet | 1.416 | 2017 |
| | | | Orman alanlarında zararlılarda mücadele mekanik, biyolojik ve biyoteknik mücadele oranındaki artış | % | 2.7 | |
| | | | Orman alanlarının rehabilitasyonu | km ² | 15.000 | 2030 |
| | | | Yangın başına düşen alan miktarının azaltılması | ha | 0.5 | |
| Mera alanlarında verimlilik azalması | 3.700 | 2.582 | Mera ıslahı | km ² | 7.500 | 2030 |
| | | | Sulanan alanların artırılması | km ² | 22.000 | 2030 |
| Tarım alanlarında verimlilik azalması | 1.250 | 5.045 | Arazi toplulaştırma faaliyetleri | km ² | 140.000 | 2023 |
| | | | Zirai potansiyeli yüksek büyük ovaların belirlenmesi ve zirai sit alanı olarak tescil edilmesi | km ² | 55.000 | 2023 |
| | | | Islah edilen alan miktarı | km ² | 20.000 | 2030 |

Kaynak: [12]'den faydalanılmıştır.

3.2. Türkiye’de SOY’un Mevcut Durumu

Orman Genel Müdürlüğü (OGM), 1999 yılında hazırladığı kriter ve göstergelerle Türkiye ormanlarının mevcut durumunu değerlendirmiştir. OGM, değerlendirme çalışmalarında SOY kriter ve göstergelerini Türkiye koşullarına uyarlamaya çalışmıştır. Ülkemizin içinde bulunduğu ekolojik, sosyal ve ekonomik koşulların farklılığı, konunun önemini ve gerekliliğini kuşkusuz daha da artırmaktadır. Nitekim, SOY bir izleme ve değerlendirme sürecidir. Bu süreçte izlemenin ve değerlendirmenin yapılabilmesi için SOY kriter ve göstergelerinin en uygun şekilde belirlenmiş olması gerekmektedir [13]-[14].

Uluslararası ormancılık çalışmalarında OGM, SOY konusu özelinde 1999 yılında kademeli olarak Pan-Avrupa ve Yakın Doğu sürecinde geliştirilen kriter ve göstergeler gözeterek kendi görev alanı dışında kalan göstergeleri elemiş ve ulusal kriter ve gösterge setini katılımcı bir yaklaşımla hazırlamıştır. OGM, kendi yetki ve sorumluluk alanında ulusal düzeyde toplamda 6 kriter ve 28 göstergelyi belirlemiştir. Geline aşamada, OGM koordinasyonunda 2017 yılından itibaren bir dizi çalışmalar yürütülmüş, bu faaliyetler neticesinde mevcut SOY kriter ve göstergelerinin uluslararası ormancılık sürecindeki gelişmeler çerçevesinde geliştirilmesi 2019 yılında neticelendirilmiştir [15]. Bu çalışma kapsamında belirlenen 6 temel kriter Şekil 1.’de yer almaktadır.



Şekil 1. Sürdürülebilir Orman Yönetimi Temel Kriterleri

Çölleşme ve arazi tahribatıyla mücadele ile ATD için ormanların geliştirilmesi, verimliliğinin artırılması ve alanlarını genişletilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu doğrultuda, ormanların korunması, bozulan alanların ıslahı ve sürdürülebilir kullanımının geliştirilmesi konularında Ar-Ge projelerinin yapılmasının yanı sıra çölleşme ile mücadele kapsamında yapılması planlanan eylemlerden birisi de SOY yaklaşımlarıdır [16].

3.3. Orman Kanunu-ATD İlişkisi

Ormanlara yönelik iş ve işlemlerin düzenlenmesi amacıyla 3116 sayılı ilk Orman Kanunu 1937 yılında yürürlüğe girmiştir. Bu Kanun’un ardından 1945 yılında özel ormanların devletleştirilmesini öngören 4785 sayılı Orman Kanununa Bazı Hükümler Eklenmesine ve Bu Kanunun Birinci Maddesinde Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun çıkarılmıştır. Bu değişikimi, 1950 yılında çıkarılan 5653 ve 5658 sayılı Kanun değişiklikleri izlemiş ve devletleştirilen ormanların iadesi gerçekleşmiştir. Halen yürürlükte olan 6831 sayılı Orman Kanunu 1956 yılında kabul edilmiş olup, ilgili Kanun bugüne kadar yirmi kez değişikliğe uğramıştır. Devlet orman mülkiyeti ve işletmeciliği ilkeleri temelinde orman alanlarının korunmasını hedefleyen hükümler, ilk kez 1961 Anayasası ile güvence altına alınmış ve daha sonra 1982 Anayasası’nda da aynı anlayış devam etmiştir. Anayasa’da yer alan 169 ve 170 inci maddeler, ormanların korunması ve gelecek kuşaklara intikali için güçlü bir dayanak oluşturmaktadır [17].

Anayasa’da ulusal ormancılık politikası amacı olarak “*ormanların korunması ve sahalarının genişletilmesi*” yer almaktadır. Zira, ormancılık alanında en önemli sorun “ormanların korunması”dır. Ülkemizde orman varlığının korunmasının yanı sıra orman varlığının artırılması ve mevcut ormanların iyileştirilmesi de oldukça önemlidir. Özellikle 1961 ve 1982 Anayasaları’nda yer alan, “*Bütün ormanların gözetimi Devlete aittir*” hükmü sayesinde Devlet mülkiyetinde olsun veya olmasın, ormanların korunması ve sürekliliği anayasal güvenceye kavuşturulmuştur. Böylece, tüzel ve özel ormanların sürekliliği yapılacak planlara göre işletilmesi zorunlu hale gelmiştir. Planlı orman işletmeciliği, orman alanlarında tahribatı en az düzeye indirmekte ve arazi bozulmasını önlemektedir.

Anayasa'daki "Devlet ormanlarının mülkiyeti devrolunamaz, bu ormanlar zaman aşımı ile mülk edinilemez." şeklindeki hüküm, ormanların korunması, içerdiği biyo-çeşitliliğin muhafaza edilmesi ve zenginliğinin devamı açısından oldukça önemlidir. Özellikle 1970'li yıllardan sonra yaşanan ekonomik ve sosyal gelişmeler ile kentlerde gelişen istihdam imkânları sonucunda sınırlı geçim kaynaklarına sahip orman köylüsünün kentlere göç etmesine neden olmuştur. Öyle ki, 1980'li yıllarda 10 milyonu aşan orman köylüsü nüfusu giderek azalmış ve günümüzde 5 milyonlara kadar gerilemiştir. Orman köylerinde nüfusun azalması ile orman kaynaklarının tahribi olabildiğince alt seviyelere inmiş, buna bağlı olarak ormanlık alanlarda önemli artışlar olmuştur. Nüfusa bağlı olarak hayvan sayısının azalması da orman kaynaklarının korunması ve artırılması bakımından etkili olmuştur. Bunun sonucunda orman köylüleri için bir yerleşim sorunu kalmamıştır. 1982 Anayasası'nın 169 ve 170 inci maddelerinde orman köylülerinin başka yere yerleştirilmesi amacıyla orman rejimi dışına arazi çıkarılmasına gerek kalmamıştır. Bu da orman tahribatını en az düzeye indirerek ormanların korunmasına olumlu yönde yansımaları sebebiyet vermiştir.

Anayasa ormancılık yönetimine kırsal toplumun kalkındırılması ve kentsel toplumun ormanların ekosistem veya sosyo-kültürel hizmetlerinden (erozyonu önleme, biyolojik çeşitlilik, havayı temizleme, rekreasyonel ve estetik değerler, karbon stoklama, toplum sağlığı ve iklim üzerine olumlu etkileri gibi) yararlandırılması konusunda görevler vermektedir. Anayasa'nın verdiği yetkiler çerçevesinde çıkarılan kanunlarla orman varlığı korunmakta, sürdürülebilirliği sağlanmakta ve olumsuz müdahalelerden korunmaktadır. Böylece SOY uygulamaları daha efektif ve ATD hedeflerine yönelik olmaktadır.

ATD'nin önemli kriterlerinden biri olan Toprak Organik Karbonunun arttırılmasına yönelik tüm çalışmalar, atmosferde giderek artan CO₂ miktarının azalmasına, dolayısıyla hava kirliliğinin azalmasına ve iklim değişikliğinin etkilerini hafifletmeye de hizmet edecektir. Ayrıca erozyonun azalmasına, bitki örtüsünün güçlenmesine ve bitkisel verim düzeyinin artmasına da imkân sağlayacaktır. Kırsal yoksulluğun azalmasında da etkin bir rol oynayacaktır. ATD faaliyetleri, ulusal kalkınma planlarıyla entegre edilmeli ve karar vericilerin ATD konusunda ayrıntılı olarak bilgilendirilmeleri gerekmektedir. Bu konuda ÇEM Genel Müdürlüğü'nün arazi tahribatının önlenmesine, doğal kaynakların korunmasına, toprak organik karbon stoklarının arttırılmasına yönelik yaptığı çalışmaların her kesime aktarılmasında ve karar vericilerin konuya daha duyarlı olmasını sağlamakta önemli görevleri bulunmaktadır.

3.4. ATD'nin Uygulanmasında Yaşanan Sıkıntılar

ATD hedefine ulaşmada ATD eylemlerinin uygulanmasını kolaylaştıran bir ortamın mevcudiyeti ön koşuldur. Destekleyici bir ortam, ATD kavramının ve eylemlerinin ulusal politikalara entegrasyonunu kolaylaştırmakta ve büyük ölçekli, yenilikçi ve dönüşümsel ATD programlarının ve projelerinin tespit edilmesine yardımcı olmaktadır. ATD hedefleri ve önlemleri belirlendikten sonra, SKA ve ulusal planlama süreçleri dahil olmak üzere ulusal kalkınma önceliklerine etkili bir şekilde yansıtılmaları gerekmektedir. İlaveten, ulusal düzeyde etkili bir şekilde duyurulmalı ve yerel topluluklardan politika yapıcılara kadar çok çeşitli paydaşlara ulaştırılmalıdır. ATD'nin gerçekleştirilmesi için, arazi yönetiminde ve gözetiminde görev alan çeşitli paydaşlar arasında güçlü ortaklıklar oluşturulmalı, seçilen politikalara ve taahhütlere dâhil edilmelidir. Ayrıca, ATD hedeflerine ulaşıp ulaşılmadığının takibi için "Çölleşmeyle Mücadele Ulusal Koordinasyon Kurulu"nun güçlendirilerek ATD'yi de içerecek bir ulusal koordinasyon mekanizması oluşturulmalı ve etkin çalışması sağlanmalıdır.

3.5. SOY Kriterlerinin Uygulanmasında Yaşanan Sıkıntılar

Sürdürülebilir kalkınmanın gerçekleştirilmesinde orman varlığının sürdürülebilirliğinin sağlanması büyük önem taşımaktadır. Bu çerçevede, Sürdürülebilir Kalkınma Amaçlarından (SKA) 15 numaralı "Karada Yaşam" amacının 15.2 numaralı alt hedefi olan "her tür ormanın sürdürülebilir yönetiminin sağlanmasının desteklenmesi, ormansızlaşmanın sona erdirilmesi, tahrip edilmiş ormanların eski haline döndürülmesi ve ağaçlandırma ve yeniden ormanlaştırmanın küresel olarak önemli ölçüde artırılması" önemli bir adımdır [18]. Ormanların sürdürülebilirliğinin temini SOY kriter ve göstergelerin belirlenmesi ile sınırlı olmayıp, söz konusu kriterlerin uygulanması ve denetlenmesi de gerekmektedir. Bu denetim mekanizmasının işlemesi için ormanların sertifikalandırılması anlayışı benimsenmiştir. SOY'un uygulanabilmesi için sertifikasyon sistemi oldukça önemlidir. SOY kriter ve göstergeleri ile sertifikasyon sistemi kadar önemli diğer bir husus belirlenecek ormancılık politikalarında katılımcılığın sağlanmasıdır. SOY'un gerçekleşmesi, ancak bu üç ögenin bir bütünlük içinde hayata geçirilmesine bağlıdır.

Türkiye'de SOY kriter ve göstergelerinin uygulamaya geçirilmesi süreci, OGM tarafından yürütülmektedir. OGM ise, SOY kriter ve göstergelerini sadece kendi görev, yetki ve sorumluluk sınırları içerisinde uygulayabilmektedir. Çölleşme konusunda yapılan çalışmaları görev ve yetki alanı dışında olduğu için değerlendirme kapsamına beklenen düzeyde alamamaktadır. Zira, daha önce Tarım ve Orman Bakanlığı bünyesinde bulunan ÇEM Genel Müdürlüğü 29.10.2021 tarihli ve 31643 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan 85 numaralı Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi ile Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'na bağlanmıştır [19]. Bu durum, "Toprağın korunması ve tabii kaynakların geliştirilmesi amacıyla havza bütünlüğü esas alınarak, çölleşme ve erozyonla mücadele, çığ, heyelan ve sel kontrolü ile entegre havza ıslahı plan ve projelerini yapmak, yaptırmak, uygulanmasını izlemek, bu faaliyetlere proje bazında destek sağlamak, bu iş ve işlemlerle ilgili politika ve stratejilerin belirlenmesi amacıyla çalışmalar yapmak, ilgili kurum ve kuruluşlar arasında işbirliği ve koordinasyon sağlamak..." şeklinde yetkilendirilen ÇEM'in sürece yeterince müdahil olmasına engel teşkil etmektedir.

Ormanın sürdürülebilirliğini sağlamak konusunda yönetim esasları önemli bir yere sahiptir. Zira, ormansızlaşma kendi kendine meydana gelmeyen, yanlış yönetim politikaları nedeniyle ortaya çıkan bir durumdur. Türkiye’de ormanların yönetilmesi ile ilgili mevcut yasal düzenlemeler ormanların korunması ve sürdürülebilirliğini sağlamaya yönelik olsa da, bazı mevzuatta bulunan boşluklar, örneğin 2B uygulamaları gibi ormanların sürdürülebilirliğine zarar vermektedir. Bu sebeple yürürlükte olan veya yürürlüğe girecek olan yasaların, orman alanlarını artıracak ve ormansızlaşmayı önleyecek şekilde düzenlenmesi gerekliliği bulunmaktadır. Ayrıca, buna yönelik olarak yasalar arasındaki çelişkilerin giderilmesi ve yasal boşlukların doldurulması gerekmektedir.

4. Sonuç

ATD ile SKA arasında yoksulluğun sona erdirilmesi, gıda güvenliğinin sağlanması, çevrenin korunması ve doğal kaynakların sürdürülebilir bir şekilde kullanılması, tahribatı azaltmak veya geri çevirmek gibi çok sayıda bağlantı mevcuttur. ATD bu hedeflere ulaşmada bir katalizör işlevi görmektedir. Arazi tahribatından kaçınmak, tahribatı azaltmak veya geri çevirmek sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmakta kilit rol oynayan arazi bazlı ekosistem hizmetlerinin korunması ve iyileştirilmesini desteklemektedir. Benzer şekilde SOY anlayışı da, uluslararası süreçler sonunda kalkınmanın sürdürülebilirliğini sağlamak için ormanların en verimli ve sürekli nasıl kullanılacağını belirleyen ilkeler bütünüdür. Bu yönetim anlayışı ile sadece ormanların korunması değil, ormanlardan sürekli ve çok yönlü yararlanma da amaçlanmaktadır. Süreç bu açıdan değerlendirildiğinde ATD hedefine ulaşmada SOY’un gerçekleştirilmesi büyük önem arz etmektedir.

Referanslar

- [1] UNEP, “Land Degradation: Science, policy and innovation for land restoration”, 2023, Available: <https://www.unep.org/gef/focal-areas/land-degradation>
- [2] Topçu, P., Erpul, G. ve Deviren Saygın, S., “Public Policies and Investments for Mainstreaming Sustainable Forest Management in Turkey”. Turkish Journal of Forest Science. Cilt 6, Sayı 1, ss.174-185, 30.04.2022 <https://doi.org/10.32328/turkjforsci.906299>.
- [3] UNCCD, “Scientific conceptual framework for Land Degradation Neutrality, A report of the Science-Policy Interface”, UNCCD-SPI Technical Series No. 01, SPI Report, UNCCD Publication, Bonn, Germany, 2017, ISBN 978-92-95110-60-1.
- [4] Ateşoğlu, A. ve Şenyaz, A., “Arazi Tahribatının Dengelenmesi Bilimsel Kavram Çerçevesi Kapsamında Collect Earth Metodolojisinin Değerlendirilmesi”, 2018, VII. Uzaktan Algılama VE CBS Sempozyumu, <http://dx.doi.org/10.15659/uzalcbcs2018.6209>.
- [5] UNCCD, “Land Degradation Neutrality principles”, 2023, Available: <https://www.unccd.int/land-and-life/land-degradation-neutrality/ldn-principles>
- [6] Dengiz, O., Öztaş, T., Haliloğlu, M.ve Şahin, K., “Arazi Tahribatı Dengelemesi”, TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası Türkiye Ziraat Mühendisliği IX. Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı-1 Ocak 2020, Ankara, ISBN-978-605-01-1321-1.
- [7] FAO, “Overview of land degradation neutrality (LDN) in Europe and Central Asia”, 2022, Rome. ISBN 978-92-5-135492-6 <https://doi.org/10.4060/cb7986en>.
- [8] Forest Europe, “Sustainable Forest Management, 2023”, 2023. Available: <https://foresteurope.org/workstreams/sustainable-forest-management/>
- [9] Durusoy, İ., “Türkiye Ormanlığı İçin Sürdürülebilir Orman Yönetimi Ölçütlerinin Belirlenmesi”, Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Ormanlık Dergisi, Yıl 2012, Cilt 8, Sayı 1, 41-49, 2012.
- [10] TOB, “Tarım Orman Şurası, Sürdürülebilir Orman Yönetimi Grubu Çalışma Belgesi”, 2022, Available: <https://cdniys.tarimorman.gov.tr/api/File/GetGaleriFile/>
- [11] Topçu, P. ve Erpul, G., “Türkiye’de Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (SKH) Çerçevesinde Arazi Tahribatının Dengelenmesi (ATD) Politika ve Stratejileri”, V. Uluslararası Katılımlı Toprak ve Su Kaynakları Kongresi , 2017.
- [12] OSİB, “Türkiye Arazi Tahribatının Dengelenmesi Ulusal Rapor 2016-2030”. Orman ve Su İşleri Bakanlığı. Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara, 2016.
- [13] Akyol, A., “Sürdürülebilir Orman Yönetimi Ölçüt ve Göstergeleri Açısından Ülkemizdeki Mevcut Durum”, II. Ormanlıkta Sosyo-Ekonomik Sorunlar Kongresi, SDÜ, Isparta, 19-21 Şubat 2009, s.37-38, 2019.
- [14] Akyol, A. ve Tolunay, A., “Sürdürülebilir orman yönetimi ölçüt ve göstergelerinin Türkiye için modellenmesi”, SDÜ Orman Fakültesi Dergisi, 2014, 15: 21-32.
- [15] OGM, “Sürdürülebilir Orman Yönetimi Kriter ve Göstergeleri 2019 Türkiye Raporu”. Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı, Ankara, 2020.
- [16] ÇMUSEP, Çölleşmeyle Mücadele Ulusal Stratejisi ve Eylem Planı 2019-2030, Tarım ve Orman Bakanlığı, Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara, 2019.
- [17] Resmi Gazete, 2023, Available: <https://www.resmigazete.gov.tr/>
- [18] UN, “Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları. 15 Karasal Yaşam”, 2023, Available: <https://turkiye.un.org/tr/sdgs/15>.
- [19] ÇEM, “Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü”, 2022, Available: <https://cem.csb.gov.tr/tarihce-103598>.

Determination of Current Status of The Criteria and Indicators Used in Rural Development Studies: The Case of Isparta Villages

Ahmet Tolunay ^{a,1} Ömer Faruk Ekemen ^b

^a Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, Isparta, 32260 Türkiye
ORCID ID: 0000-0001-9028-9343

^b Isparta Uygulamalı Bilimler, Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü 32260 Türkiye
ORCID ID: 0009-0004-1299-6965

Abstract

Rural development is the work aimed at improving rural local conditions that bring negative effects to human life. In rural development studies, the problems of rural communities are identified and defined, and suitable solutions are developed according to these problems. The problems encountered in rural development are determined within the framework of rural development indicators and the criteria that these indicators reflect. In this study, criteria and indicators that were used in the past in rural development practices and that should be added today have been determined. The study was carried out based on the villages of Isparta Province. According to the results of the research, it was determined that 4 social criteria and 38 indicators, 7 economic criteria and 32 indicators, 4 political criteria and 16 indicators, 4 environmental criteria and 15 indicators were used in rural development studies in the past. For today's rural development studies, 8 social criteria and 36 indicators, 6 economic criteria and 35 indicators, 6 political criteria and 21 indicators, 6 environmental criteria and 28 indicators have been determined.

Keywords: "Development, rural development, criteria and indicators, rapid rural appraisal technique, Isparta villages, Turkey."

1. Giriş

Kalkınma, üretim ve kişi başına ulusal gelirin artırılmasıyla birlikte, ekonomik ve sosyokültürel yapısının da değiştirilmesi anlamına gelmektedir [1]. Bir başka ifade ile kalkınma, bir ülkenin yapısal niteliklerinin olumlu yönde değişimidir [2].

Kalkınma farklı amaçları ve süreçleri içerebilir. Örneğin;

- Kalkınma; insanların daha fazla gelir elde ederek, yaşam düzeylerinin yükseltilmesi için, bir sosyal sisteme yeni ve modern üretim tekniklerinin sunulmasını gerektirebilir.
- Kalkınma; geleneksel toplumun, gelişmiş batı uluslarının sahip olduğu toplumsal ve teknolojik yapıya topluca dönüştürülmesi olarak anlaşılabilir.
- Kalkınma; insanların ve toplumların kendilerine güvenli bir gelecek kurabilmelerinin geliştirilmesi ve desteklenmesi olarak düşünülebilir.
- Kalkınma; insanların ne yapacaklarını, aldıkları sağlıklı kararlar ile belirledikleri özgür deneyimler olarak algılanabilir [3].

Geçtiğimiz son 25 yılda çeşitli ülkeler üzerinde yapılan araştırmalar, kalkınma düzeyleri olarak ülkelerin; gelişmiş ülke (GÜ) ve az gelişmiş ülke (AGÜ) ülkeler olarak ayrılabilceğini ortaya koymuştur. AGÜ 'ler ekonomik, demografik, sosyal ve teknolojik özellikler açısından gelişmiş ülkelere göre geri durumdadır. AGÜ olgusunun kırılması için bu özelliklerin değiştirilmesi ve kalkınmalarının sağlanması gerekmektedir.

Az gelişmiş ülkelerde (AGÜ) kalkınma bir taraftan kaynakların etkin bir şekilde kullanılması, üretim hayatının geliştirilmesi, sanayileşmenin sağlanması, teknolojik ilerlemenin hızlandırılması gibi temel ekonomik konular üzerinde yoğunlaşırken, diğer taraftan tarımsal verimliliğin artırılması, altyapı olanaklarının geliştirilmesi ve ülke insanların eğitim, beslenme ve sağlık

¹ Corresponding Author

E-mail Address: ahmettolunay@isparta.edu.tr

sorunlarının çözülmesini gerektirmektedir. Burada en son belirtilen kalkınma konuları, herhangi bir AGÜ'nin bütün yörelerini ilgilendiren sorunlar olabileceği gibi, düalist (ikili) yapının varlığı nedeniyle daha çok kırsal bölgelerde ağırlığını hissettiren sorunlardır. Öte yandan bu ülkelerde piyasa mekanizmasının hemen hemen hiç çalışmadığı alanlar kırsal bölgelerdir. Zira kırsal yöreler, kendine özgü bir işleyiş yapısı olan *kapalı ekonomiler* halindedir. Kırsal yörelerde üretim ve tüketim piyasalarını birleştiren mübadele mekanizması yeterli derecede gelişmemiş olup, yapılan üretim büyük ölçüde kırsal toplumların ya da ailelerin kendi tüketim ihtiyaçlarında kullanılmaktadır [4].

En basit tanımıyla kırsal kalkınma; *insan yaşamına olumsuzluklar getiren kırsal çevre koşullarının iyileştirilmesine yönelik çalışmalardır*. Kırsal kalkınma çalışmaları, kırsal alan içerisinde teşhis edilen sorunların niteliği ve alternatif çözüm yollarına göre, kırsal yapıya farklı konularda ve çeşitli zaman süreçleri içerisinde müdahale edilmesini gerektiren çalışmalardır. Kırsal kalkınma, geniş anlamıyla kırsal toplumların gelişmiş toplum statüsüne dönüştürüldüğü bir süreç olarak algılanırsa ve bu sürecin aşama aşama oluşacağı düşünülürse, bu alanda yapılacak çalışmaların belirli uygulama dönemleri içinde olacağı ortaya çıkmaktadır [5]

Kırsal kalkınma çalışmalarında, kırsal toplumların problemleri belirlenmekte ve tanımlanmakta, bu problemlere göre uygun çözüm önerileri geliştirilmektedir. Bu nedenle, kırsal kalkınma programlarının çözmeye yöneldiği sorunlar, sadece tarımsal uğraşları ya da ekonomik konuları değinen sorunlar değildir. Kırsal kalkınma ile çözümlenene çalışılan sorunlar, geniş anlamı olan sözcüklerle düşündüğümüzde iki ana gruba ayrılabilir. Bunlar; 1. Fiziksel sorunlar: Bu sorunlar kırsal bölgelerin fiziksel çevresi ile ilgilidir. Bu problemlere altyapı olanaklarının yetersizliği, eğitim ve sağlık koşullarının olumsuzluğu, tarımsal verimliliğin düşüklüğü, içme ve sulama suyu azlığı, toprak erozyonu örnek olarak gösterilebilir. 2. Fiziksel olmayan sorunlar: Bu sorunlar kırsal toplumların içinde yaşadıkları bölgenin ekonomik ve sosyal koşulları nedeniyle meydana geleceği gibi, ülke yönetiminden de kaynaklanabilir. Bu sorunlara örnek olarak işlenebilir arazilerin azlığı, devlet hizmetlerinin yetersizliği ya da ulaşamaması, daha fazla toprağı ve kapitali olan çiftçilere bağlılık gösterilebilir [3].

Yukarıdaki açıklamalar kırsal kalkınma üzerinde düşünürken, kırsal yöre insanların günlük olarak karşılaştığı bütün sorunların dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Kırsal yöredeki sorunların fiziksel nitelikli olanlarının, göreceli olarak teşhisi ve tanımlanması kolaydır. Bu tür sorunların herhangi bir gözlem ya da inceleme ile kolayca anlaşılabilir ve sorunun çözümüne yönelik uygun bir hareket tarzı geliştirilebilir. Örneğin, tarımsal verimliliğin düşüklüğü bir sorun olarak teşhis edilmişse, bunun nedeni araştırılarak uygun bir çözüm yolu bulunabilir. Ya da içme suyu kıtlığı olabilir ve bir içme suyu projesi ile sorunun çözümüne ulaşılabilir.

Fiziksel olmayan sorunların teşhisi ve tanımlanmasında güçlüklerle karşılaşmaktadır. Fakat üzerinde çalışılan kırsal bölgenin, sosyoekonomik ve sosyopolitik yapısını analiz ederek, bu tür sorunların teşhisine ulaşılabilir. Örneğin, tarımla uğraşan çiftçilerin, yaşadıkları bölge içerisinde diğer kişilerle ilişkileri vardır. Bu ilişkiler fiziksel sorunlar hakkında bize ipucu sağlarlar. Gelişmekte olan birçok ülkenin kırsal yörelerinde, borç para veren kişilere bağımlılık, tarımla uğraşan küçük çiftçilerin karşılaştığı önemli bir sorundur. Ayrıca kırsal yöre insanları ellerinde bulunan kaynakları etkin ve verimli şekilde kullanmasını bilmeyebilirler. Ya da yürütülecek bir kırsal kalkınma faaliyetinin kendilerine ne gibi yararlar sağlayacağını algılayamayabilirler. Bu gibi sorunlar, kırsal kalkınma çalışmaları içerisinde çözülmesi gerekli fiziksel olmayan sorunlar arasındadır [6]

Kırsal kalkınma çalışmaları geniş çerçevesi ve içeriği olan bir kalkınma uğraşısıdır. Kırsal kalkınma olarak ele alınan konular çok farklı nitelik ve çeşitlilik içerisinde. Kırsal kalkınma konularının, kırsal kalkınma göstergeleri ve bu göstergelerin yansıttığı ölçütler çerçevesinde incelenmesi yerinde bir yaklaşım olacaktır. Kırsal kalkınma çalışmalarının ilk uygulama aşamasını etüt-envanter ve sorun analizi (EE&SA) çalışmaları oluşturmaktadır. Bu çalışmalar kırsal yöreyi tanımlamak ve mevcut sorunları teşhis etmek için yapılmaktadır. Bu çalışmalar ile kırsal yöre test edilmekte ve teşhis edilen sorunlar, kırsal kalkınma olarak hangi konular üzerinde çalışılacağını ortaya koymaktadır. Ayrıca kırsal kalkınma göstergeleri; kırsal kalkınma plan, program ve projelerinin meydana getirdiği sonuçlar ve yarattığı etkilerin ölçülmesini olanaklı kılmaktadır [5,6].

Bu çalışmada kırsal kalkınma çalışmalarında kullanılan ölçütler ve göstergelerin geçmişte ve bu günkü güncel durumu belirlenmeye çalışılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma Alanı

Isparta İli Antalya ve Burdur ile Batı Akdeniz Bölgesi'nde yer alan bir ildir (Şekil 1). Akdeniz iklimi ile karasal iklim arasında bir geçiş iklimine sahiptir. Kışları serin ve yağışlı yazları ise sıcak ve kurak geçmektedir. İklim üzerinde çevresindeki göllerin önemli etkisi vardır. Yağışların büyük bir bölümü kış ve ilkbahar aylarında düşmektedir [7,8].



Şekil 1. Isparta İli (Anonim-1, 2023)

Isparta İlinde toprağa dayalı üretimler olarak tarımsal ve hayvansal üretim yaygın olarak yapılmakta olup, yöre halkının önemli geçim kaynakları arasındadır. Dünya'nın en kaliteli güllerinin yetiştiği yer Isparta topraklarıdır.

Isparta nüfusu 2022 yılına göre 445.325'tir. Bu nüfus, 219.840 erkek ve 225.485 kadından (%49,37 erkek, %50,63 kadın) oluşmaktadır. Yüzölçümü 8.913 km² olan Isparta ilinde kilometrekareye 50 insan düşmektedir. Isparta nüfus yoğunluğu 50/km²'dir [8]. Isparta'ya bağlı 13 ilçe, bu ilçelere bağlı 9 belde ve 204 köy bulunmaktadır [9].

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Kırsal Kalkınma ve Sosyal Ormancılık Uygulama ve Araştırma Merkezi tarafından Isparta İli kırsal yerleşim birimlerinde etüt ve envanter çalışmaları yapılmaktadır. Ayrıca bu merkez tarafından "Her İlçede Bir Köy Analizi" çalışma programı kapsamında kırsal saha çalışmaları yapılmaktadır. Çalışma alanını seçilme nedeni bu olmaktadır.

2.2. Materyal

Ülkemizde kırsal kalkınma konusunda kavramsal ve teorik çalışmalar bulunmaktadır [6]. Ayrıca kırsal yörelerde köy analizleri ve vak'a çalışmaları yapılmıştır [10, 11, 12, 13, 14]. Günümüze kadar gelen zaman süreci içinde konu ile ilgili çeşitli raporlar ve dokümanlar hazırlanmıştır. Bu köy analizleri vak'a çalışmaları, rapor ve dokümanlar toplanmış ve araştırmada materyal olarak kullanılmıştır.

Ayrıca, Yüksek Öğretim Kurulu (YÖK) tez tarama merkezinde doğrudan veya dolaylı, konu ile ilgili yapılmış yüksek lisans ve doktora tezleri [15, 16, 17, 18, 19, 20]. Türkiye Bilimsel ve Teknoloji Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) ULAKBİM veri tabanından konu ile ilgili yerli ve yabancı yayınlar araştırmada kullanılan materyaller arasındadır.

Köylerde yapılan vak'a çalışmalarında köylere ait mevcut veri ve bilgileri içeren dokümanlar (topografik haritalar, il ve ilçe düzeyindeki istatistiksel bilgi ve veriler) materyal olarak kullanılmıştır.

Çalışma sırasında mülakat ve görüşmelerde not ve kayıt tutmak amacıyla teksir kâğıtları, elde edilen etüt ve döküm bilgilerini kaydetmek için not defterleri ve diğer kırtasiye araçları kullanılmıştır. Bunların dışında fotoğraf ve slayt filmleri, araştırma içerisinde kullanılan diğer materyaller olmuştur.

2.3. Yöntem

Çalışmada, Isparta İli kırsal yörelere yapılan köy ziyaretleri ve bu ziyaretlerde yapılan sosyolojik gözlem çalışmaları, araştırma konuları ile ilgili veri toplanmasında önemli katkı sağlamıştır. Kırsal kalkınmada ölçütler ve göstergelerin geçmiş durumunun belirlenmesinde mülakat ve görüşmelerde bulunulmuştur. Bu mülakat ve görüşmelerde yöneltilen sorular; "Kalkınma ve Kırsal Kalkınma denilince ne anlıyorsunuz? Bildiğiniz kadar açıklayınız, Kırsal alan nedir? Açıklayınız. Ülkemizde nereler kırsal alandır? Kırsal toplum kimlere denir? Kırsal toplumların özellikleri nelerdir? Gelişmişlik ya da kalkınmışlık nedir? Bildiğiniz kadar açıklayınız, Kırsal kalkınmada kalkınmanın seviyesini belirleyen ölçütler nelerdir? Bu ölçütler hangi göstergeler ile değerlendirilebilir? Kırsal kalkınmada sosyal durum ölçütleri neler olabilir? Bu ölçütler hangi göstergelerle değerlendirilebilir? Kırsal kalkınmada ekonomik durum ölçütleri neler olabilir? Bu ölçütler hangi göstergelerle

değerlendirilebilir? Kırsal kalkınmada siyasal durum ölçütleri neler olabilir? Bu ölçütler hangi göstergelerle değerlendirilebilir? Kırsal kalkınmada çevresel durum ölçütleri neler olabilir? Bu ölçütler hangi göstergelerle değerlendirilebilir? Şeklinde dir.

Vak'a çalışmalarında yöntem olarak; Hızlı Kırsal Değerlendirme Tekniği (Rapid Rural Appraisal, RRA) kullanılmıştır. RRA; 1980'li yıllarda geliştirilmiş bir kırsal değerlendirme tekniğidir. RRA; bir kırsal yerleşim biriminin yöresel yapısını anlamak amacıyla, çeşitli uzmanlık alanına sahip kişilerden oluşan bir ekip tarafından, en az 4 gün en fazla 3 haftalık süre içinde, kırsal yapının gözlemlendiği ve kırsal yapı içerisindeki insanlarla sözlü mülakat ve görüşmelerin yapıldığı bir kırsal değerlendirme çalışması olarak tanımlanmaktadır [21].

Örnek vak'a çalışmaları, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Kırsal Kalkınma ve Sosyal Ormancılık Uygulama ve Araştırma Merkezi tarafından "Her İlçede Bir Köy Analizi" çalışma programı kapsamında yapılan çalışmalar olup, araştırmanın bulgularını oluşturmuştur.

3. Bulgular

3.1. Kırsal Kalkınmada Ölçütler ve Göstergelerin Geçmiş Durumu

Kırsal kalkınma çalışmaları geniş çerçevesi ve içeriği olan bir kalkınma uğraşıdır. Kırsal kalkınma olarak ele alınan konular çok farklı nitelik ve çeşitlilik içerisindedir.

Kırsal kalkınma çalışmalarının ilk uygulama aşamasını etüt-envanter ve sorun analizi (EE&SA) çalışmaları oluşturmaktadır. Bu çalışmalar kırsal yöreyi tanımlamak ve mevcut sorunları teşhis etmek için yapılmaktadır. Bu çalışmalar ile kırsal yöre test edilmekte ve teşhis edilen sorunlar, kırsal kalkınma olarak hangi konular üzerinde çalışılacağını ortaya koymaktadır. Ayrıca kırsal kalkınma göstergeleri; kırsal kalkınma plan, program ve projelerinin meydana getirdiği sonuçlar ve yarattığı etkilerin ölçülmesini olanaklı kılmaktadır. Geçmişte kırsal kalkınmada ölçütler ve göstergelerin geçmiş durumu aşağıda verilmiştir.

3.1.1. Sosyal ölçütler ve göstergeleri

Kırsal toplumların ve bu toplumların içinde yaşadıkları yerleşim birimlerinin (*mahalle, mezra, köy, kasaba, vb. gibi*) sosyal yapısının ve bu yapı içerisinde meydana gelen değişikliklerin ölçülmesinde kullanılmıştır.

Sosyal yapıdaki durum ve bu yapıda meydana gelen değişikliklerin belirlenmesinde kullanılan ölçütler; yaşam standardı, fakirlik ve yoksulluk, beslenme durumu, sağlık durumu, eğitim durumu, kadın ve erkeğin sosyal konumu, yeniliklere karşı tutum ve eğilim, vb. gibi olabilmektedir. Geçmişte kullanılan 4 sosyal ölçüt ve 38 gösterge aşağıda Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo.1. Kırsal kalkınmada geçmişte kullanılan sosyal ölçütler ve göstergeleri

| NO | ÖLÇÜTLER | GÖSTERGELER |
|----|-----------------|--|
| 1 | Yaşam standardı | 1. İçilebilir ve kullanılabilir su miktarı (<i>m³, litre, ton</i>) 2. Ulaşım ve haberleşme olanaklarının durumu (<i>yol, telefon, posta hizmetleri, radyo, televizyon, vb. gibi</i>), 3. Barınılan yerler olarak ev ve hanelerin sıhhi durumları, kullanılan yapı malzemelerinin niteliği (<i>kerpiç, biriket, tuğla, beton vb. gibi</i>), 4. Boş zaman değerlendirme alanları ve değerlendirme şekilleri (<i>park ve spor alanlarında geçirilen zaman miktarı</i>). |
| 2 | Yoksulluk | 1. Topraksız kişi miktarı ve oranı, 2. İşsiz kişi sayısı ve oranı, 3. Evsiz aile sayısı ve oranı, 4. Mevsimlik göç durumu (<i>var veya yok ya da sayısı</i>), 5. Zorunlu olarak hane halkının yönetimini üstlenmiş kadın sayısı ve oranı, 6. 5 yaşın altındaki yetersiz beslenen çocuk sayısı ve oranı. |
| 3 | Beslenme | 1. Temel gıda maddelerinin neler olduğu ve bunların tüketim miktarı (<i>buğday, pirinç vb. gibi</i>), 2. Kişi başına günlük alınan kalori miktarı, 3. Kişi başına günlük alınan protein miktarı, 4. Yaşa göre vücut boyu (<i>cm</i>) ve ağırlığı (<i>kg</i>). |
| 4 | Sağlık | 1. Bir yıl içerisinde hastalanan kişi sayısı ve oranı, 2. Ölümlerin temel nedenleri (<i>yetersiz beslenme, hastalıklar vb. gibi</i>), 3. Bebek ölüm sayısı ve oranı, 4. Aşılana kişi sayısı ve oranı, 5. Zehirsiz pestisit kullanım ve uygulama miktarı (<i>örneğin DDT gibi</i>), 6. Halk sağlığı ile ilgili çalışmaların düzeyi ve bunlara ilişkin olanaklar ve miktarı (<i>hastane, dispanser, sağlık ocağı vb. gibi</i>), 7. Doktor, hemşire, ebe başına düşen kişi sayısı ve oranı. |

Tablo.1. (devam)

| | | |
|---|--------------------------------------|---|
| 5 | Eğitim | 1. Yaşı 5-15 arasında okula giden çocuk sayısı ve oranı, 2. Okuryazarlık oranı, 3. Zorunlu eğitim süresi (yıl), 4. Öğretmen başına düşen okul çağı çocuk sayısı, 5. Yüksek okula giden kişi sayısı ve oranı, 6. Tarımsal yayım ve eğitim programlarının durumu ve miktarı, 7. Çiftçi başına düşen tarımsal eğitim uzmanı sayısı ve oranı. |
| 6 | Kadın ve erkeğin sosyal konumu | 1. Çalışan kadın ve erkek işgücü miktarı ve oranı, 2. Kadın ve erkek işçi ücretleri arasındaki farklılıklar (günlük ya da aylık ücret olarak), 3. Erkek ve kız çocuk ölüm oranı, 4. Okula gönderilen kız çocuğu sayısı ve oranı, 5. Tarımsal kooperatif ve örgütlerde görev alan kadın sayısı ve oranı, 6. Resmi kurum ve yerel yönetimlerde (muhtarlık, belediye vb. gibi) görev yapan kadın sayısı ve oranı. |
| 7 | Yeniliklere karşı tutum ve eğilimler | 1. Nüfus artışı ve aile planlaması çalışmalarına ilgi ve uyum oranı, 2. Kadının aktif konuma getirilmesine yönelik çalışmalara karşı oluşan bakış açıları ve bu yönde yapılan uygulamaların sayısı, 3. Farklı bir toplumsal yapı ve sınıf içerisinde bulunan kişilerle evlenenlerin sayısı, 4. Teknolojik gelişmelere uyum durumu. |

Yukarıda belirtilen sosyal göstergelere kırsal yerleşimlerde yaşanan değişimler nedeniyle yenilerinin eklenmesi gerekmektedir. Sayısallaştırma işlemindeki güçlük nedeniyle yeni eklenecek göstergelerin çok dikkatli seçilmesi gerekmektedir.

3.1.2. Ekonomik ölçütler ve göstergeleri

Kırsal yörede bulunan yerleşim birimlerinin gerek hanehalkı gerekse yerleşim birimi düzeyinde ekonomik durumlarını ortaya koymak ve bu alanda meydana gelen değişiklikleri ölçmek için kullanılmışlardır. Ekonomik durumu ortaya koyan ölçütlerin bazıları; finansal durum, mal ve servet sahipliği, üretim, gelir, pazarlama, işgücü ve istihdam, teknoloji ve girdi kullanımı, vb. gibi olmuştur. Geçmiş yıllarda 7 ölçüt ve 32 göstergenin ekonomik ölçüt ve gösterge olarak kullanıldığı tespit edilmiş olup, bunlar Tabo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Kırsal kalkınmada geçmişte kullanılan ekonomik ölçütler ve göstergeleri

| NO | ÖLÇÜTLER | GÖSTERGELER |
|----|------------------------------|---|
| 1 | Finansal durum | 1. Gelire göre tasarruf ve tüketim meylı, 2. Sermaye yatırım alanları ve miktarı, 3. Borçlanma ve borçlu kişi sayısı, 4. Çeşitli kurum ve kuruluşlardan kredi kullanan kişi sayısı ve kredi miktarı. |
| 2 | Mal ve servet sahipleri | 1. Sahip olunan tarımsal alan miktarı (dekar, hektar olarak), 2. Sahip olunan evcil hayvan (inek, koyun, kümes hayvanları) sayısı, 3. Tarımsal alan başına düşen iş aracı miktarı (traktör, biçerdöver vb. gibi), 4. Tercih edilen yatırım alanları (menkul ve gayri menkul olarak). |
| 3 | Üretim | 1. Birim alanda elde edilen tarımsal ürün miktarı ve verimlilik oranı, 2. Hayvansal ürünlerin verimlilik oranı, 3. Hektarda ağırlık (kg ya da ton) veya hacim (m ³) olarak elde edilen orman ürünleri miktarı. |
| 4 | Gelir | 1. Kişi, aile ve hane halkı başına düşen ortalama gelir (aylık veya yıllık) miktarları, 2. Yerleşim birimi bazında toplam gelir miktarı, 3. Gelirlerin elde edildiği üretim alanları, miktarları ve birbirlerine göre oranları, 4. Köy dışı gelirler ve miktarları. |
| 5 | Pazarlama | 1. Pazara ulaşan ürünler niteliği ve miktarları, 2. Pazara yakınlık veya uzaklık, 3. Mübadele şekli (ayni veya nakdi), 4. Pazarlama organizasyonu (kooperatif ya da bireysel). |
| 6 | İşgücü ve istihdam | 1. Çalışabilir nüfus miktarı (15-65 yaşları arası) ve bunun istihdam edilmiş kişi sayısı ya da oranı, 2. İşsizlik oranı, 3. Nitelikli ve niteliksiz işçi miktarı, 4. Tarımsal işçilik ücretlerinin düzeyi, 5. Cinsiyete göre kadın ve erkek ücreti düzeyi, 6. Okul çağında çalışan çocuk sayısı. |
| 7 | Teknoloji ve girdi kullanımı | 1. Tarımsal mekanizasyon olarak; traktör, biçerdöver ve diğer mekanizasyon aletlerini kullanan kişi/aile sayısı ve oranı, 2. Hayvansal üretim olarak suni yem, süt sağma makinesi vb. gibi araçları kullanan kişi/aile sayısı ve oranı, 3. Tarımsal ilaç, tohum ve suni gübre kullanan kişi/aile sayısı ve oranı, 4. Emek yoğun teknoloji kullanımı durumunda gereksinim duyulan çalışma saati miktarı, 5. Mekanizasyon ile işini kaybeden kişi sayısı ya da oranı, 6. Modern teknoloji ve girdi satın almak için tarımsal kredi kullanan kişi/aile sayısı ya da oranı, 7. Geleneksel olarak yetiştirilen meyve ve orman ağaçları yanında, yeni ağaç türlerini yetiştiren kişi/aile sayısı ve oranı |

3.1.3. Siyasal ölçütler ve göstergeleri

Bu ölçütler ve göstergeler kurumsal devlet ve toplumsal yapı ile ilgili göstergeler şeklinde kendini göstermiştir. Kalkınmanın gelişimi ve kalkınma düzeyinin belirlenmesinde çeşitli siyasal göstergelerin yansıttığı ölçütlerden yararlanılmıştır. Geçmişte siyasal göstergelerin yansıtacağı ölçütler; üretim faktörleri üzerinde kontrol ve denetim, gelir dağılımı, siyasal ve toplumsal liderlik, toplumsal yaşam ve düzen şeklinde kendini göstermiştir. Geçmiş uygulamalarda 4 ölçüt ve 16 gösterge kullanılmış olup, bu ölçütler göstergeler Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Kırsal kalkınmada geçmişte kullanılan siyasal ölçütler ve göstergeleri

| NO | ÖLÇÜTLER | GÖSTERGELER |
|----|---|---|
| 1 | Üretim faktörleri üzerinde kontrol ve denetim | 1. Düşük fiyatlı tarımsal girdi sağlanması için yapılan tarımsal sübvansiyon miktarı, 2. Çiftçiler lehine devlet tarafından tarımsal ürün fiyatları destekleme politikaları ve düzeyi, 3. Arazi mülkiyet şekilleri ve bunların miktarı ve oranları (<i>devlet, özel, vb. gibi</i>), 4. Tarımsal su ve sulama kaynakları üzerinde kontrol ve denetim durumu (<i>var ya da yok</i>), 5. Devlet politikaları üzerinde ağırlığı olan oda ve kurumlarda, çiftçilerin temsilci sayısı (<i>ziraat odaları, odalar ve borsalar birliği, vb. gibi</i>) |
| 2 | Gelir dağılımı | 1. Yoksulluk sınırı altındaki aile sayısı ve oranı, 2. Milli gelirin çeşitli toplumsal sınıflar dışında dağılım oranı, 3. Kamu olanaklarının çeşitli toplumsal sınıflar ve cinsiyete (<i>kadın ve erkek</i>) göre yayılış ve artış şekli. |
| 3 | Liderlik | 1. Modern tarımsal uygulamalar için eğitilmiş lider veya önder çiftçi sayısı, 2. Kişi başına düşen resmi hükümet görevlisi sayısı, 3. Yerel yönetimlerde (<i>belediye, muhtarlık, vb. gibi</i>) görev almış kadın temsilci sayısı, 4. Çeşitli kalkınma konularına önderlik eden kurum ya da kişi sayısı. |
| 4 | Toplumsal yaşam ve düzen | 1. Toplam nüfus içerisinde resmi ve gayri resmi olarak evlenmiş çift sayısı ve oranı, 2. Asker ve emniyet kuvvetleri içerisinde görev yapan erkek ve kadın nüfus miktarı, 3. Hapis cezası almış kişi sayısı ve oranı, 4. Suç çeşitleri ve işleme şekilleri (<i>sayı ve oran</i>). |

3.1.4. Çevresel ölçütler ve göstergeleri

Bunlar kırsal yörelerin çevresel durumunu tespit etmek ve kırsal alanlar içinde meydana gelen çevresel değişimleri ölçmek amacıyla kullanılmış göstergelerdir. Yanlış arazi ve bilinçsiz kaynak kullanımı olumsuz çevre sorunlarına neden olmuştur. Kırsal kalkınma çalışmalarında bu sorunları ortadan kaldıracak uygulamalar yapılmak istenmiştir. Geçmiş uygulamalarda çevresel ölçütlerin bazıları; ormansızlaşma, su kirliliği, hava kirliliği, sulak alanlarda azalma ve deniz kirliliği, çevre duyarlılığı ve çevresel eğitim, ağaçlandırma ve erozyon şeklinde oluşmuştur. Geçmiş kırsal kalkınma çalışmalarında 4 ölçüt ve 15 göstergenin kullanıldığı görülmektedir. Bu ölçütler ve göstergeler Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo.4. Kırsal kalkınmada geçmişte kullanılan çevresel ölçütler ve göstergeleri

| NO | ÖLÇÜTLER | GÖSTERGELER |
|----|--------------------------------------|--|
| 1 | Ormansızlaşma | 1. Mevcut orman alanı miktarı ve bunun genel alana oranı, 2. Hektardaki ağaç serveti miktarı ve bunun optimal servete göre durumu, 3. Tarımsal alan miktarı ve bunun genel alana oranı, 4. Üst toprak derinliği (<i>cm, m</i>), 5. Ani taşkın ve sel felaketlerinin meydana gelme sıklığı. |
| 2 | Su kirliliği | 1. İçme ve kullanma sularındaki oksijen miktarı ve oranı, 2. Sularda zehirli madde miktarı. |
| 3 | Çevre duyarlılığı ve çevresel eğitim | 1. Çevre korumaya yönelik davranış şekilleri (<i>örneğin; dikili ağaçlara karşı</i>), 2. Atık çöp ve materyal tipleri miktarı ve bunların geriye dönüşüm oranı, 3. Çevresel eğitim materyallerindeki (<i>afiş, ilan, duyuru, vb. gibi</i>) artış miktarı, 4. Ormansızlaşmanın önlenmesi için yöresel olarak yapılan ağaç bayramları ve orman haftaları kutlamaları ve bu etkinliklerin çevresel düşüncelerle bütünleşmesi (<i>örneğin; hatura ormanları, dikili bir ağacım var kampanyaları, vb. gibi</i>). |
| 4 | Ağaçlandırma ve erozyon | 1. Kırsal yerleşim birimleri örneğin köy halkı tarafından ağaçlandırılan alan miktarı, 2. Ormancılık örgütü dışında ağaçlandırma çalışmalarına ilgi gösteren ve destek veren kurum ve kuruluş sayısı miktarı, 3. Toprak kaybı şekli (<i>rüzgâr veya toprak erozyonu vb. gibi</i>), 4. Erozyon şiddeti (<i>hafif, orta vb. gibi</i>). |

3.2. Kırsal Kalkınmada Ölçütler ve Göstergelerin Güncel Durumu

3.2.1. Sosyal ölçütler ve göstergeleri

Bu çalışma ile kırsal kalkınmada sosyal ölçütler ve göstergeler setine; alt yapı ve hizmetlerin durumu, sosyal ve kültürel tesis ve hizmet binaları, spor tesisleri ve sosyal aktiviteler, ticari işletme ve kuruluşlar, yenilikçi sağlık hizmetleri, kırsal turizm, sosyal medya kullanımı, iletişim başlıklarında olmak üzere yeni 8 ölçüt ve bunlara ait 37 adet yeni belirlenmiş olup Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Kırsal kalkınma çalışmalarına eklenmesi gereken yeni sosyal ölçütler ve göstergeleri

| NO | ÖLÇÜTLER | GÖSTERGELER |
|----|---|---|
| 1 | Alt yapı ve hizmetlerin durumu | 1. Yeterli şebeke suyu alt yapısı, 2. Yeterli kanalizasyon ve atık suyu alt yapısı, 3. Mobil internet erişimi, 4. Genişband internet erişimi. |
| 2 | Sosyal ve kültürel tesis ve hizmet binaları | 1. Pazar yeri varlığı, 2. Düğün salonu varlığı, 3. Köy odası varlığı, 4. Sağlık ocağı varlığı, 5. Okul varlığı, 6. Park, köy koruluğu gibi rekreasyon alan miktarları, 7. Okuma salonu, kütüphane varlığı. |
| 3 | Spor tesisleri ve sosyal aktiviteler | 1. Spor tesisleri ve futbol sahası (halı saha) sayısı, 2. Amatör spor kulübü sayısı, 3. Meslek kursları sayısı, 4. Köy / belde derneği sayısı. |
| 4 | Ticari işletme ve kuruluşlar | 1. Bakkal sayısı, 2. Zincir market sayısı (A101, ŞOK, BİM, FİLE, MİGROS vb gibi), 3. Terzi ve berber gibi hizmet veren işletme sayısı, 4. Kahvehane sayısı, 5. İnternet kafe sayısı, |
| 5 | Yenilikçi sağlık hizmetleri | 1. Evde sağlık hizmeti alan kişi sayısı, 2. e-nabız uygulaması kullanan kişi sayısı, 3. MHRS (Merkezi Hekim Randevu Sistemi) kullanan kişi sayısı, 4. Aşı kartı olan kişi sayısı. |
| 6 | Kırsal turizm | 1. Yöresel gelenek ve göreneklerin (somut olmayan miras) mevcut durumu, 2. Yöresel yemek çeşitleri ve gıda ürünlerinin varlığı ve sayısı, 3. Tarihi ve doğal turizm değerlerinin varlığı ve sayısı. |
| 7 | Sosyal medya kullanımı | 1. Facebook kullanan kişi sayısı, 2. Instagram kullanan kişi sayısı, 3. Twitter kullanan kişi sayısı. |
| 8 | İletişim | 1. Evde internet aboneliği olan kişi sayısı, 2. Cep telefonu kullanan kişi sayısı, 3. e-posta kullanan kişi sayısı, 4. SMS (Short Message System) kullanan kişi sayısı, 5. What's up kullanan kişi sayısı, 6. Kendine ait web sitesi olan kişi sayısı, 7. Kırsal yerleşime ait web sitesinin varlığı. |

3.2.2. Ekonomik ölçütler ve göstergeleri

Bu çalışma ile kırsal kalkınma çalışmalarında ekonomik ölçütler ve göstergeler setine; sosyal güvenlik, sanal bankacılık ve finansal uygulamalar, sanal pazar ve pazarlama , tarımda kullanılan yeni teknolojiler, tarımda kullanılan dijital teknolojiler, tarımsal inovasyon uygulamaları şeklinde 6 yeni ölçüt ve ölçütlere ait 35 adet yeni gösterge belirlenmiş olup Tablo 6'da verilmiştir.

3.2.3. Siyasal ölçütler ve göstergeleri

Kırsal kalkınma çalışmalarında siyasal ölçütler ve göstergeler setine; üretici örgütlenmeleri ve kurdukları tesisler, kırsal yerleşimlerin kalkınma amaçlı sınıflandırılması, yasal ve idari düzenlemelerin kırsal toplumlar üzerinde etkileri olmak üzere 3 yeni ölçüt ve 21 yeni gösterge belirlenmiş olup, bu ölçütlerin şekillenmesini sağlayan göstergeler Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 6. Kırsal kalkınma çalışmalarına eklenmesi gereken yeni ekonomik ölçütler ve göstergeleri

| NO | ÖLÇÜTLER | GÖSTERGELER |
|----|--|---|
| 1 | Sosyal güvenlik | 1. Aktif çalışan sigortalı oranı, 2. Primi devlet tarafından ödenen nüfus oranı, 3. Primi özel sektör tarafından ödenen nüfus oranı |
| 2 | Sanal bankacılık ve finansal uygulamalar | 1. Kişi başı banka mevduatı miktarı, 2. Kişi başı banka kredisi miktarı, 3. Kredi kartı işlem adeti, 4. Kredi kartı işlem tutarı, 5. Bankamatik kartı kullanan kişi sayısı, 6. İnternet bankacılığı kullanan kişi sayısı. |
| 3 | Sanal pazar ve pazarlama | 1. Dijital tarım pazarı kullanım miktarı, 2. Sanal pazar kullanım sayısı, 3. Semt pazarı varlığı, |
| 4 | Tarımda kullanılan yeni teknolojiler | 1. Hassas toprak işleme ekim ve hasat makinelerinin kullanım durumu ve sayısı, 2. Dikey tarım yapan kişi sayısı ve alan miktarı, 3. Otonom araçlar kullanım durumu ve sayısı, 4. Çeşitli robotik uygulamaların kullanım durumu ve sayısı, 5. Akıllı sulama sistemlerinin kullanım durumu ve miktarı, 6. Topraksız tarım yapan kişi sayısı ve alan miktarı, 7. Sera otomasyonları kullanım durumu ve kullanan kişi sayısı 8. Bilgisayar destekli hayvancılık uygulamaları miktarı. |
| 5 | Tarımda kullanılan dijital teknolojiler | 1. Sıcaklık, nem, pH, tuzluluk ve iletkenlik sensörlerinin kullanım durumu ve sayısı, 2. Değişken oranlı gübreleme ve ilaçlama uygulama durumu ve sayısı, 3. Ahır içi mekanizasyonu ve robotik uygulama durumu ve sayısı, 4. Otomatik dümenleme yapılan tarım alanı miktarı, 5. Verim ölçerli biçerdöver kullanan kişi sayısı, 6. Sürü yönetim ve yazılım sistemlerinin kullanım durumu ve sayısı, 7. Tarımsal uygulamalarda dron kullanımı durumu ve sayısı, 8. Yapay zekâ ve veriye dayalı iş modelleri uygulama durumu ve sayısı. |
| 6 | Tarımsal inovasyon uygulamaları | 1. Elektronik hayvan takip sistemi kullanım durumu ve sayısı, 2. Elektrikli traktör kullanım durumu ve sayısı, 3. Tarım parsellerinin ve sulama tesislerinin sayısallaştırılma durumu ve miktarı, 4. Entegre idare ve kontrol sistemi kullanım durumu ve sayısı 5. Tarım bilgi istemi (TARBİS) uygulama durumu ve uygulama sayısı, 6. Çiftlik muhasebe veri ağı kullanım durumu ve kullanan kişi sayısı, 7. Tarım arazileri değerlendirme ve bilgilendirme portalı kullanım durumu ve sayısı. |

Tablo 7. Kırsal kalkınma çalışmalarına yeni eklenmesi gereken siyasal ölçütler ve göstergeleri

| NO | ÖLÇÜTLER | GÖSTERGELER |
|----|--|---|
| 1 | Üretici örgütlenmeleri ve kurdukları tesisler | 1. Kalkınma kooperatifi sayısı ve üye miktarları, 2. Ziraat odasına kayıtlı çiftçi sayısı, 3. Tarımsal üretim yapan yetiştirici (su ürünleri ve arıcılık dahil) birlik ve kuruluş sayısı ve üye miktarı, 4. Hayvansal üretim yapan (küçükbaş ve büyükbaş) yetiştirici birlik ve kuruluş sayısı ve üye miktarı, 5. Sulama kooperatifi sayısı, 6. Süt toplama merkezi sayısı, 7. Soğuk hava deposu sayısı, 8. Ürün toplama merkezi sayısı. |
| 2 | Kırsal yerleşimlerin kalkınma amaçlı sınıflandırılması | 1. Köylerin ya da ilçelerin merkezlere olan ulaşımaları, 2. Yerleşim yerinde birinci derece sağlık hizmeti veren kurum varlığı, 3. Yerleşim yerinin havaalanlarına uzaklığı, 4. Yerleşim yerinde eğitim imkanları, 5. Yapı stoku miktarı. |
| 3 | Yasal ve idari düzenlemelerin kırsal toplumlar üzerinde etkileri (6360 Sayılı Büyükşehir Yasasının kırsal alan sınıflandırılması üzerine etkileri) | 1. Belediyelerin köylere hizmet sunma durumu, 2. Köylerin mimarisi ve karakterinin kaybolma riski durumu, 3. Kırsalda yer alan nüfus, vergi yükümlülükleri ve imara tabi olmaları gibi konularda büyükşehir sınırlarında olup olmama durumuna göre yapılan farklı uygulamaların durumu ve sayısı, 4. Yerleşim yerleri sınıflamasında kullanılan hiyerarşik yapılanmada büyükşehir olan illerle diğer iller arasında ortaya çıkan farklılıkların durumu ve sayısı, 5. Mahalle olan köylerin tüzel kişiliklerini kaybetmelerinin köy kimliği üzerine etkilerinin durumu ve sayısı, 6. Tüzel kişiliğini kaybeden bu köylerin mera, otlak vb. köy ortak malı olan yerlerin tasarrufunun belediyelere geçmesi ile bu yerlerin başka kullanım alanları olarak değerlendirilmesine yönelik kararların sayısı, 7. Kır-kent ayrımında kullanılan istatistiklerin durumu ve güncelliği, 8. Kırsalda yaşayan nüfusun yürüttüğü tarımsal faaliyetler ve özellikle hayvancılık faaliyetlerinin kentsel dokuya uymaması nedeniyle terk edilme miktarı. |

3.2.4. Çevresel ölçütler ve göstergeleri

Bunlar kırsal yörelerin çevresel durumunu tespit etmek ve kırsal alanlar içinde meydana gelen çevresel değişimleri ölçmek amacıyla kullanılan çevresel ölçütler göstergeler setine 6 yeni ölçüt ve bu ölçütleri belirleyen 28 yeni gösterge belirlenmiş olup Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8. Kırsal kalkınma çalışmalarında yeni eklenmesi gereken çevresel ölçütler ve göstergeleri

| NO | ÖLÇÜTLER | GÖSTERGELER |
|----|--|--|
| 1 | Çevre dostu uygulamalar | <ol style="list-style-type: none"> 1. Akıllı tarım teknolojilerinin kullanımı ve özellikle sulamada akıllı sulama sistemlerinin desteklenmesine yönelik uygulamaların miktarı, 2. Tarladan sofraya adil, sağlıklı ve çevre dostu örnek gıda sistemi uygulamaların durumu, 3. Yapay zekâ, 5G, bulut bilişim ve EDGE bilişim Dijital teknolojileri yardımıyla iklim değişikliğinin azaltılmasına yönelik uygulamaların miktarı, 4. Hava ve su kirliliğinin ile doğal kaynakların kullanımının izlenmesi ve optimize edilmesine yönelik uygulamaların durumu. |
| 2 | Atık yönetimi | <ol style="list-style-type: none"> 1. Atık toplama ve arıtma tesisi sayısı, 2. Sıfır atık uygulamalarının başarı durumu, 3. Geri dönüşüm merkezine gönderilen atık miktarı, 4. Evsel atık ayrıştırma uygulamalarına katılım miktarı, |
| 3 | İklim değişikliğinin önlenmesine yönelik uygulamalar | <ol style="list-style-type: none"> 1. Yağmur hasadı uygulaması yapan kişi/hane sayısı, 2. Azaltılmış toprak işleme miktarı, 3. Organik tarım yapan alan miktarı ve kişi sayısı, 4. İklim değişikliği üzerinde olumlu etki yaratan tarımda yeni teknolojilerin kullanımı ile ilgili farkındalık yaratılması ve kullanımının benimsenmesine yönelik eğitimlerin sayısı. |
| 4 | Kuraklık ve çölleşme | <ol style="list-style-type: none"> 1. Sera gazı salınım miktarı, 2. Sıcaklık artışları ve yağışlarda azalma miktarları, 3. Su kaynaklarında azalma miktarı, 4. Su ve toprak kalitesinde bozulma seviyesi, 5. Ekosistemin bozulması ve biyolojik çeşitliliği azalma miktarı, 6. Ekolojik alanlarda yatay ve dikey kayma durumu, |
| 5 | Karbon yönetimi | <ol style="list-style-type: none"> 1. Karbon çiftliği ve tarımsal ormancılık uygulamalarının durumu ve miktarı, 2. Biyoenerji uygulamaları miktarı, 3. Yıllık anız yakma miktarı, 4. Isınma ve pişirmede kullanılan yakacak odun miktarı, 5. Karbon birikimi sağlayan alan (<i>orman, tarım, mera, vb gibi</i>) miktarları. |
| 6 | Enerji Kullanımı | <ol style="list-style-type: none"> 1. Fosil yakıt (<i>kömür , petrol, vb gibi</i>) kullanan hane sayısı, 2. Doğalgaz kullanan hane sayısı, 3. Elektrik enerjisi kullanan motorlu araç sayısı, 4. Su ısıtmada güneş enerjisi paneli kullanan hane sayısı, 5. Elektrik enerjisi üretiminde güneş enerjisi paneli kullanan hane sayısı. |

4. Sonuç ve Öneriler

Kırsal kalkınma çalışmalarının başarısı; kırsal yörede var olan sorunların sağlıklı bir şekilde tespitine ve bu sorunlara ilişkin uygun çözüm yollarının bulunmasına bağlıdır. Kırsal kalkınma çalışmalarına başlanılmadan önce, kırsal yapıyı tanımlayan ve kırsal yöre hakkında bilgi edinilmesini olanaklı kılan çalışmalar yapılmaktadır. Etüt-envanter ve sorun analizi çalışmaları, fiziki veya idari açıdan, bir kırsal ünite olarak tanımlanmış ya da ayrılmış alanlar üzerinde yapılmaktadır. Bu çalışmaların, kırsal alan olarak temel aldıkları baz, yerleşim birimleri olarak, mahalle veya mezra, köy, kasaba, ilçe ve il ya da fiziki olarak havza ya da bölge olabilmektedir. Etüt-envanter ve sorun analizi çalışmalarında bilgi toplama teknikleri olarak gözlem, anket, sosyal survey, istatistiki analiz ve literatür çalışmaları kullanılmaktadır Bu tekniklerin birbirlerine göre farklı yönleri vardır. Etüt-envanter ve sorun analizi çalışmaları esnasında, birden fazla bilgi toplama yöntemini aynı anda kullanmak mümkündür. Örneğin; anket tekniği ile bilgiler toplanırken, gözlem çalışmalarıyla, anket çalışmalarından elde edilen bilgilerin doğrulanması ve desteklenmesi gerekmektedir.

Etüt-envanter çalışmalarında; analiz edilen "alan" ya da "yerleşim biriminin" tanımlanmasına (mevkii, topografya, iklim, jeolojik yapı ve toprak durumu, su kaynakları, vejetasyon, vb gibi), kültürel ve sosyoekonomik şartların belirlenmesine (yerleşim tarihi, nüfus, hane halkı büyüklüğü, etnik kompozisyon, din ve inanç sistemi, eğitim, beslenme ve sağlık, geçim kaynakları, köy yönetim şekli, haberleşme, altyapı, pazarlama, gelir-gider durumu, vb gibi) ve arazi kullanım şekline (arazi mülkiyeti, tarım, mera, orman gibi üretim alanlarına dağılımı, kırsal uğraşı düzenleri, yetiştirilen tarımsal ürünler, hayvancılık, ağaç ve orman ürünleri kullanımı, vb gibi) ilişkin bilgiler toplanmaktadır. Bu etüt-envanter bilgileri; sorun analizi ve sorunlara müdahale yönteminin belirlenmesinde yol gösterici olmaktadır. Sorun analizi çalışmasıyla, kırsal yörede var olan sorunlar teşhis edilmekte ve hedef kitleye göre önceliklendirilmektedir. Bu önceliklere göre, kırsal yapıya müdahale şekli ortaya konmaktadır. Müdahale şekli; kırsal kalkınma uygulamalarında planlanacak ve projelendirilecek çalışma konularıdır. Bu noktada kırsal yapıdaki yerleşim

birimlerine hangi önceliklerle müdahale edileceği cevaplandırılması gereken bir soru olarak karşımıza çıkmaktadır. Başka bir deyimle kırsal kalkınma çalışmalarının köy, ilçe ve il olarak sıraya konulması gerekmektedir.

Kırsal kalkınma çalışmalarında ölçütler ve göstergeler sosyal, ekonomik, siyasal ve çevresel ölçütler ve göstergeler olarak dört başlıkta toplanmıştır. Sosyal ölçütler ve göstergeleri; kırsal toplumların ve bu toplumların içinde yaşadıkları yerleşim birimlerinin (mahalle, mezra, köy, kasaba, vb. gibi) sosyal yapısının ve bu yapı içerisinde meydana gelen değişikliklerin ölçülmesinde kullanılmaktadır. Ekonomik ölçütler ve göstergeleri; kırsal yörede bulunan yerleşim birimlerinin gerek hane halkı, gerekse yerleşim birimi düzeyinde ekonomik durumlarını ortaya koymak ve bu alanda meydana gelen değişiklikleri ölçmek için kullanılırlar. Siyasal ölçütler ve göstergeleri; bunlar kurumsal devlet ve toplumsal yapı ile ilgili göstergelerdir. Kalkınmanın gelişimi ve kalkınma düzeyinin belirlenmesinde çeşitli siyasal göstergelerin yansıttığı ölçütlerden yararlanmaktadır. Ülke kalkınması kavramının ekonomik, sosyal ve insan kalkınması olmak üzere üç elemanı bulunmaktadır. İşte burada belirtilen insan kalkınması kavramı siyasal göstergeler ve bu göstergelerin yansıttığı ölçütlerle ortaya konulabilmektedir. Çevresel ölçütler ve göstergeleri; çevresel durumunu tespit etmek ve kırsal alanlar içinde meydana gelen çevresel değişimleri ölçmek amacıyla kullanılan göstergelerdir. Yanlış arazi ve bilinçsiz kaynak kullanımı olumsuz çevre sorunlarına neden olabilmektedir. Kırsal kalkınma çalışmalarında bu sorunları ortadan kaldırarak uygulamalar yapmak gerekmektedir.

Bu çalışma ile kırsal kalkınma çalışmalarında geçmişte 4 sosyal ölçüt ve 38 gösterge, 7 ekonomik ölçüt ve 32 gösterge, 4 siyasal ölçüt ve 16 gösterge ile 4 çevresel ölçüt ve 15 göstergenin kullanıldığı tespit edilmiştir. Günümüz kırsal kalkınma çalışmaları için yeni olarak 8 sosyal ölçüt ve 37 adet gösterge, 6 ekonomik ölçüt ve 35 adet gösterge, 6 siyasal ölçüt ve 21 gösterge, 6 çevresel ölçüt ve 28 gösterge belirlenmiştir. Yeni alınacak kırsal kalkınma plan ve projelerin hazırlanmasında yeni belirlenen ölçüt ve göstergeler dikkate alınmalıdır.

Teşekkür

Bu araştırma, Isparta uygulamalı Bilimler Üniversitesi (ISUBÜ), Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı'nda tamamlanan "Kırsal Kalkınma Çalışmalarında Kullanılan Ölçüt ve Göstergelerin Güncel Durumunun Belirlenmesi: Isparta Köyleri Örneği" adlı Yüksek Lisans tez çalışmasının bir bölümüdür. Bu çalışmayı yapmamızı sağlayan Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'ne teşekkürlerimizi sunarız.

Yazar Katkıları

Ahmet Tolunay çalışmayı planlamış ve tasarlamıştır. Ömer Faruk Ekemen verileri toplamıştır. Ahmet Tolunay verilerin analizini yapmıştır. Yazarlar makalenin yazımına ortak katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Referanslar

- [1] F.V. Savaş, Kalkınma Ekonomisi (İkinci Baskı), İ. İ. T. İ. A. Nihat Sayar Yardım Vakfı Yayınları, No:315/547, İstanbul, 1979.
- [2] U. Geray, Ekonomi, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, İ.Ü. Yayın No: 3633, Or. Fak. Yayın No:408, İstanbul, 1991.
- [3] P. Oakley ve C. Garforth, Guide to extension training, FAO Training Series, No: 11, FAO, Rome, 1985.
- [4] A. Akyol, A. Tolunay, "Türkiye'de Sürdürülebilir Orman Kaynakları Yönetimi İlkeleri, Göstergeleri ve Uygulamaları" Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10 (2), 221–234, 2006.
- [5] A. Tolunay, "Sosyal Ormanlık ve Türkiye Açısından Önemi", Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1998.
- [6] A. Tolunay, A. Akyol, Kalkınma ve Kırsal Kalkınma, SDÜ Orman Fakültesi Dergisi, 2(2): 116-127, 2006.
- [7] Isparta İli Haritası. Kaynak: <https://s.milimaj.com/others/image/harita/isparta-ili-haritasi.png> Erişim Tarihi: 10 Ocak 2023
- [8] Isparta İli Nüfusu ve Yüzölçümü. Kaynak: <https://www.nufusu.com/il/isparta-nufusu> Erişim Tarihi: 12 Ocak 2023.
- [9] Isparta İli, Kaynak: <http://www.isparta.gov.tr/isparta> Erişim Tarihi: 15 Ocak 2023.
- [10] G. Ergil, Türk Köyünde Modernleşme Eğilimleri Araştırması (Rapor II), DPT Yayınları, Yayın No: 999, İstanbul, 1971.
- [11] Y. Anıl, Yukarı Çulhalı Orman Köyü ' nün Sosyoekonomik Dokusu, Ormanlık Araştırma Enstitüsü Yayınları, Teknik Bülten Serisi No: 57, Ankara, 1973.
- [12] Y. Anıl, Orman Köylerinin Oluşumuna Tarihsel Açından Bakış, Ormanlık Araştırma Enstitüsü Dergisi, Yıl: 1974, Cilt: 20, Sayı: 2, Ankara, 1974.
- [13] E. Geray, U. ve E. Acun, Orman Köylülerinin Kentleşmesi ve Orman Köy İlişkileri (Safranbolu Örneği), İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, İ.Ü. Yayın No:2640, O.F. Yayın No:279, İstanbul, 1980.

- [14] U. Geray, Konya'daki Proje Köylerinin (Bağrikurt, Beykavağı, Küçükmuhsine) Sosyoekonomik Koşulları, İstanbul. 1993.
- [15] T. Porsuk, “Sürdürülebilir Ormanlık İçin Kriterler, Göstergeler ve Türkiye’deki Durum” Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2000.
- [16] A. Akyol, “Türkiye’de Sürdürülebilir Orman Kaynakları Yönetimi İlkeleri, Göstergeleri ve Uygulamalar” Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2004.
- [17] G. Üçok, “Türkiye’de Orman İşletmeleri Düzeyinde Sürdürülebilir Orman Yönetimi Sosyoekonomik Göstergelerine Ait Standartların Belirlenmesi: İzmir Orman Bölge Müdürlüğü Örneği” Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2013.
- [18] F.N. Şener, “Türkiye’de Sürdürülebilir Ormanlık Uygulamalarının Sertifikasyon ve Akreditasyonunda Sivil ve İdari Yapılanma: Andırın Devlet Orman İşletme Müdürlüğü ve Göksun Devlet Orman İşletme Müdürlüğü Örneği” Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- [19] İ. Durusoy, “Türkiye Ormanlığında Sürdürülebilir Orman Kaynakları Yönetimi Ölçüt ve Göstergelerinin Ülke Ölçeğinde Belirlenmesi” Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, s:266, 2009.
- [20] A. Akyol, Sürdürülebilir Orman Yönetimi Ölçüt ve Göstergelerinin Türkiye Modeli, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
- [21] Y. Apichatvullop, Rapid Rural Appraisal for Community Forestry. Lecture for Regional Training Course in Community Forestry Development Techniques (Jan. 20-Feb. 28, RFD), Bangkok, 1992.

Determination of Acceptance of Gender, Aggression and Inter-Couple Violence and the Relationship Between Midwifery and HSPES Students

Özgür Alparslan ^{a,1}, Ebru Solmaz ^b, Ayşe Çataloluk ^c

^a Tokat Gaziosmanpaşa University, The Faculty of Health Sciences, Tokat, Turkey
ORCID ID: 0000-0002-2264-2886

^b Ağrı İbrahim Çeçen University, The Faculty of Health Sciences, Ağrı, Turkey
ORCID ID: 0000-0003-1962-8669

^c Tokat Gaziosmanpaşa University, The Faculty of Health Sciences, Tokat, Turkey
ORCID ID: 0000-0002-9344-107X

Abstract

We aimed to determine the status of accepting gender, aggression and violence between couples and the relationship between midwifery and physical education and sports school students. The sample of the descriptive and cross-sectional (01.11.2017-30.12.2017) study consisted of midwifery (n=246), coaching (n=139) and physical education teacher (n=56) students (n=441). Personal information form, Gender Perception Scale, Gender Roles Attitude Scale, Aggression Scale, and Couple Violence Acceptance Scale were used to collect data. Data was evaluated by using number, percentage, mean, t-test, ANOVA and correlation analysis on the computer. 29.3% of the students participating in the study were male and 70.7% were female. It was determined that female student's gender perceptions are lower than male students. Male students were found to have a higher mean of violence, and the aggression level was normal for both. It was determined that the rate of accepting violence between couples was lower in women than in men (p<0.05). The mean acceptance of violence by women against men of people who were subjected to violence by their families was found to be statistically significant (p<0.005). A significant difference was found in the aggression and anger sub-dimensions of the students who took courses on violence at the university. It was determined that the relationship between the sub-dimensions of the Gender Attitude Scale and the sub-dimensions of the Aggression Scale was significant (p<0.05). As a result of the study, it can be said that male students accept violence more and the effects of violence lessons in education are positive, albeit small.

Keywords: "Aggression, gender, violence, midwifery."

1. Giriş

Bir insan hakkı olan toplumsal cinsiyet eşitliği sürdürülebilir kalkınmaya sahip barışçıl toplumların sağlanabilmesi için esas bir kavramdır. Yüzyılı aşkın feminist savunuculuğun, uluslararası söylemlerin ve giderek artan kanıtların ardından toplumsal cinsiyet kavramı toplumun tüm sektörlerinde en önemli belirleyicilerden biri haline gelmiştir [1, 2]. Toplumsal cinsiyet, kadın veya erkek fark etmeksizin insanların eşit haklara, sorumluluklara ve fırsatlara sahip olmasıdır [3]. Toplumsal cinsiyet terimi, kadın ve erkeğin mutlaka aynı olduğu veya farklılıkların olmadığı anlamına gelmemekle birlikte, eşit haklara, fırsatlara, sorumluluklara ve kaynaklara erişimin yanı sıra bunlardan yararlanmaya sahip oldukları anlamına gelmektedir. Bu tanım, toplumda kadın ve erkeklerin algılarına, ilgilerine, ihtiyaçlarına ve önceliklerine eşit ağırlık verilmesi sağlanarak, hak ve sorumluluklardan eşit yararlanmayı etkileyebilecek roller ve biyolojideki farklılıkların dikkate alınması ile açıklanabilir [4]. Toplumsal cinsiyet kavramı bu kadar önemli olmasına rağmen hala sağlık, eğitim ve kalkınmada karmaşık bir konu olmaya devam etmektedir. Toplumsal cinsiyet eşitsizliği ayrımcı değerler, normlar, inançlar, uygulamalar ve önyargılar nedeniyle sağlık sistemini etkilemektedir. Cinsiyet eşitliğinin olmaması sürekli olarak sağlıkta eşitsizlik ve şiddetin altında yatan bir belirleyicisi olarak gösterilmektedir. Şiddet ve saldırganlık konusunda bu eşitsizliğin rolü büyüktür. Birleşmiş Milletler Genel Kurulu, 1993 yılında Kadına Yönelik Şiddetin Ortadan Kaldırılmasına İlişkin Bildirgesi'nde, şiddetin erkekler ve kadınlar arasındaki tarihsel olarak eşitsiz güç ilişkilerinin bir göstergesi olduğunu belirtmiştir [5].

Literatürde bazı faktörlerin saldırganlık ve şiddet ile güçlü bağlantılı olduğunu gösteren çalışmalar mevcuttur. Bu faktörler arasında kişisel inanç ve tutumlar, aile ilişkileri, baskınlık, kıskançlık ve toplumsal cinsiyet eşitsizliği algısı bulunmaktadır. Toplumsal cinsiyet eşitsizliği özellikle kadınlara yönelik düşmanlık hem cinsel taciz hem de kadınlara yönelik saldırganlığın

¹ Corresponding Author
E-mail Address: ozgralp60@gmail.com

varlığı ile ilişkilendirilmiştir. Bu düşmanlığın toplumsal cinsiyet eşitsizliğinin sürdüren ataerkil toplumlarda uyumlu olduğu görülmüştür [6]. Üniversite öğrencilerinde flört şiddeti üzerinde yapılan bir çalışmaya göre erkek öğrencilerin kadın öğrencilere karşı duydukları eşitsizliğin hem sözlü saldırganlık hem de cinsel zorlama ile ilişkili olduğu bulunmuştur [7]. Bu nedenle toplumsal cinsiyet algısının belirlenmesi ve saldırganlık arasındaki ilişkinin açığa çıkarılması oldukça önemlidir.

Bu çalışmada, ebelik bölümünde ve beden eğitimi ve spor yüksekokulunun farklı bölümlerinde öğrenim gören öğrencilerin toplumsal cinsiyet, saldırganlık düzeyleri ile çiftler arası şiddeti kabul etme düzeyinin saptanması, bunların bazı sosyo-demografik değişkenlerle ilişkisinin araştırılması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntemler

2.1. Araştırmanın Evren ve Örneklemi

Bu çalışma tanımlayıcı ve kesitsel tipte (01.11/30.12.2017) olup, Türkiye’de bir üniversitenin Sağlık Bilimleri Fakültesi Ebelik Bölümü ve Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu (BESYO) Antrenörlük ile Beden Eğitimi Öğretmenliği bölümlerinde öğrenim görmekte olan öğrencilerde gerçekleştirilmiştir

Çalışmanın evrenini Türkiye’de bir üniversitenin Sağlık Bilimleri Fakültesi Ebelik Bölümü (N=305) ve BESYO Antrenörlük-Beden Eğitimi Öğretmenliği Bölümleri (N=320) öğrencileri oluşturmuştur. Araştırmanın örneklemini ise çalışmaya gönüllü olarak katılmayı kabul eden Ebelik (n=246), Antrenörlük (n=139) ve Beden Eğitimi Öğretmenliği (n=56) bölümlerinden toplam 441 öğrenci oluşturmuştur.

2.2. Veri Toplama Araçları

Verilerin toplanmasında kişisel bilgi formu, Toplumsal Cinsiyet Algısı Ölçeği, Toplumsal Cinsiyet Rollerini Tutum Ölçeği, Saldırganlık Ölçeği ve Çiftler Arası Şiddeti Kabul Ölçeği kullanılmıştır.

Kişisel Bilgi Formu: Öğrencilerin yaş, cinsiyet, sınıf, bölüm, şiddete tanık olma durumu ve şiddete uğrama gibi tanımlayıcı özelliklerini belirlemeye yönelik toplam 19 sorudan oluşmuştur.

Toplumsal Cinsiyet Algısı Ölçeği (TCAÖ): Geçerlilik güvenilirlik çalışması yapılmış beşli likert tipindeki ölçek yetişkinlere uygulanmak üzere geliştirilmiştir [8] (Altınova ve Duyan,2013). Değişik alanlara özgü bireylerin toplumsal cinsiyet rollerini nasıl algıladıklarıyla ilgili tutumlarını ölçmede kullanılmaktadır. Yirmibeş maddelik ölçeğin maddelerinin 10’u olumlu, 15’i ise olumsuz ifadelerden oluşmaktadır. Ölçekteki Cronbach Alpha değeri 0.92’dir. Ölçekte katılımcılar her bir maddeyi “tamamen katılıyorum (5), tamamen katılmıyorum (1) şeklinde derecelendirerek işaretlemektedir. Ölçekte tersine ifadeler çevrilerek (2., 4., 6., 9., 10., 12., 15., 16., 17.,18., 19., 20., 21., 24. ve 25. maddeler) puan hesaplanır. Ölçekten minimum 25, maksimum 125 puan alınabilir. Yüksek puan alınması TCÖ Algısının olumlu olduğunu göstermektedir [8] .

Toplumsal Cinsiyet Rollerini Tutum Ölçeği (TCRTÖ): Zeyneloğlu’nun [29] geliştirdiği, 38 maddeden oluşan ölçek, toplumsal cinsiyet rollerine ilişkin bireylerin tutumlarını belirlemek için kullanılmaktadır. “Eşitlikçi cinsiyet rolü”, “kadın cinsiyet rolü”, “evlilikte cinsiyet rolü”, “geleneksel cinsiyet rolü”, “erkek cinsiyet rolü” olmak üzere beş alt boyut içerir. Puanlamada en yüksek puan “190”, en düşük puan ise “38” olarak hesaplanmıştır. Ölçekten alınan en yüksek puan, öğrencinin TCRÖ’ne ilişkin “eşitlikçi tutuma sahip” olduğunu, en düşük puan ise, TCRÖ’ne ilişkin ‘geleneksel tutuma sahip’ olduğunu göstermektedir.

Saldırganlık Ölçeği (SÖ): Buss-Durkee Düşmanlık Ölçeğinin güncellenmiş formudur. Buss ve Warren [9] tarafından öfke ve saldırganlığı değerlendirmek için geliştirilen, beşli likert tipi yanıtlar içeren ve beş alt ölçekten oluşan 34 maddelik bir ölçektir. Ölçeğin Türkçe geçerlilik ve güvenilirlik çalışması Can [9] tarafından yapılmıştır. Alt ölçekler fiziksel saldırganlık, sözel saldırganlık, öfke, düşmanlık ve dolaylı saldırganlığı değerlendirir. Ölçekten alınan puanlardan 58 ve aşağısı düşük, 59 ve 110 arası normal, 111 ve üzeri yüksek saldırganlık düzeyini göstermektedir. Cronbach Alfa katsayısı ölçeğin tamamı için r=.913 olarak bulunmuştur [9].

Çiftler Arası Şiddeti Kabul Etme Ölçeği (ÇAŞKEÖ): Foshee, Futhergill ve Stuart (1992)’in geliştirdiği ve Türkçeye uyarlanması Sezer’in [10] yaptığı 11 maddelik dördümlü likert tipi bir ölçektir. Ölçekten alınan yüksek puan ÇAŞKE düzeyinin yüksek, düşük puan ise ÇAŞKE düzeyinin düşük olduğunu göstermektedir. Ölçeğe ait Cronbach Alfa katsayısı .87 olarak hesaplanmıştır [10] .

2.3. Verilerin Toplanması

Öğrencilere çalışmanın amacı açıklanmış ve gönüllü olarak katılmak isteyenlerin onamları alınmıştır. Öğrenciler formları sınıf ortamında 10-15 dakika içinde kendi kendilerine doldurmuşlardır.

2.4. Verilerin Analizi

Verilerin değerlendirilmesi bilgisayarda sayı, yüzde, ortalama, t testi, ANOVA ve korelasyon analizi kullanılarak yapılmıştır. İstatistiksel anlamlılık düzeyi $p < 0.05$ olarak kabul edilmiştir.

2.5. Araştırmanın Etik Yönü

Araştırmaya başlamadan önce ilgili kurumlardan uygulama izni alınmıştır. Veri toplama aşamasına geçilmeden araştırma hakkında öğrenciler bilgilendirilmiş ve araştırma formu üzerinden çalışmaya katılmayı gönüllü olarak kabul ettiklerine dair seçeneği işaretledikten sonra gönüllü katılımlarının ardından çalışmaya alınmışlardır. Araştırma Helsinki Deklarasyonu Prensipleri'ne uygun olarak yapılmıştır.

2.6. Araştırmanın Sınırlılıkları

Çalışmanın bir üniversitenin sınırlı bölümlerinde yürütülmüş olması çalışmanın genellenebilirliğini sınırlandırabilir. Bu nedenle tüm üniversite öğrencilerine genellenemez.

3. Bulgular

Öğrencilerin yaş ortalanması 20.18 ± 1.69 (min=17, max=27) yıldır. Çalışma toplam 441 kişi arasında yapılmış olup, katılımcıların %70.7'si kadın, %40.4'ü 1. sınıfta ve %55.7'si Sağlık Bilimleri Fakültesinde öğrenim görmektedir. Öğrencilerin %53.3'ü öğrenimi boyunca şiddet ile ilgili eğitim almamış, %54.7'si çiftler arası şiddete tanık olmamış ve %80.9'u ailesi tarafından şiddete uğramamıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Öğrencilerin sosyodemografik özelliklerin dağılımı (n=441)

| Sosyodemografik Özellikler | n | % |
|--|-----|------|
| Cinsiyet | | |
| Kadın | 312 | 70.7 |
| Erkek | 129 | 29.3 |
| Sınıf | | |
| 1. Sınıf | 138 | 31.1 |
| 2. Sınıf | 179 | 40.4 |
| 3. Sınıf | 76 | 17.2 |
| 4. Sınıf | 50 | 11.3 |
| Okul ve Bölümler | | |
| Sağlık Bilimleri Fakültesi (Ebelik Bölümü) | 246 | 55.7 |
| Beden eğitimi ve spor Yüksekokulu | 195 | 44.3 |
| <i>Antrenörlük Bölümü</i> | 139 | |
| <i>Beden Eğitimi Öğretmenliği Bölümü</i> | 56 | |
| Şiddetle İlgili Eğitim Alma Durumu | | |
| Evet | 206 | 46.7 |
| Hayır | 235 | 53.3 |
| Şiddete Tanık Olma Durumu | | |
| Çiftler Arasında Şiddete Tanık Olmuştur | 200 | 45.3 |
| Çiftler Arasında Şiddete Tanık Olmamıştır | 241 | 54.7 |
| Şiddete Uğrama Durumu | | |
| Ailesinden Şiddete Uğramıştır | 84 | 19.1 |
| Ailesinden Şiddete Uğramamıştır | 357 | 80.9 |

Üniversite öğrencilerinin toplumsal cinsiyet algısı, TCR tutumu, SÖ ve ÇAŞKE düzeyi puanlarının cinsiyetlerine göre farklılaşma durumunu ortaya koymak amacıyla ölçek puanları toplanmıştır. Puanlar incelendiğinde erkek TCA (\bar{X} =93.03), TCR tutumu (\bar{X} =98.58), saldırganlık (\bar{X} =100.17) ve ÇAŞKE düzeyi puanlarının (\bar{X} =21.28) kadın öğrencilere göre yüksek derecede anlamlı olduğu görülmüştür ($p<0.05$) (Tablo 2).

TCRÖ cinsiyetler arası ortalamaları karşılaştırıldığında; erkek öğrencilerin eşitlikçi cinsiyet rolü (\bar{X} =20.67), kadın cinsiyet rolü (\bar{X} =19.53), evlilikte cinsiyet rolü (\bar{X} =23.29), erkek cinsiyet rolü (\bar{X} =5.55) ortalamaları anlamlı olarak yüksek bulunmuştur ($p<0.05$). Kadın öğrencilerin geleneksel cinsiyet rolü alt boyutunda (\bar{X} =25.14), erkek öğrencilere göre yüksek ve istatistiksel olarak fark anlamlı bulunmuştur. ($p<0.05$). SÖ ölçeğinin cinsiyetler arası ortalamaları karşılaştırıldığında; erkek öğrencilerin ölçek alt boyutları puanlarının hepsinde anlamlı derecede istatistiksel olarak yüksek olduğu saptanmıştır ($p<0.05$). ÇAŞKE Ölçeğinin cinsiyetlere göre puan ortalamaları karşılaştırıldığında; ölçek alt boyutlarının hepsinde erkek öğrencilerin puan ortalamalarının istatistiksel olarak yüksek anlamlı olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$) (Tablo 2).

Tablo 2. Cinsiyetlere göre ölçeklerin puan ortalamalarının karşılaştırılması

| Ölçekler | n | $\bar{X} \pm SD^{***}$ | t p |
|--|-----|------------------------|-------------|
| Toplumsal Cinsiyet Algısı Ölçeği | K* | 85.85±0.33 | -8.145 |
| | E** | 93.03±0.73 | .000 |
| Toplumsal Cinsiyet Rollerini Ölçeği | K | 87.5981±10.53 | -8.863 |
| | E | 98.5891±14.52 | .000 |
| <i>Eşitlikçi Cinsiyet Rolü</i> | K | 18.79±3.183 | -8.863 |
| | E | 20.67±4.003 | .000 |
| <i>Kadın Cinsiyet Rolü</i> | K | 16.60±3.643 | -6.837 |
| | E | 19.53±4.268 | .000 |
| <i>Evlilikte Cinsiyet Rolü</i> | K | 19.59±3.612 | -5.879 |
| | E | 23.29±6.749 | .000 |
| <i>Geleneksel Cinsiyet Rolü</i> | K | 25.14±3.313 | 3.172 |
| | E | 24.01±3.675 | .000 |
| <i>Erkek Cinsiyet Rolü</i> | K | 3.74±1.638 | -9.050 |
| | E | 5.55±2.008 | .000 |
| Saldırganlık Ölçeği | K | 81.87±0.53 | -7.857 |
| | E | 100.17±1.18 | .000 |
| <i>Fiziksel Saldırganlık</i> | K | 17.51±6.559 | -7.218 |
| | E | 22.59±7.054 | .000 |
| <i>Sözel Saldırganlık</i> | K | 12.52±3.610 | -5.655 |
| | E | 15.30±6.574 | .000 |
| <i>Öfke</i> | K | 20.13±5.819 | -6.422 |
| | E | 24.53±8.013 | .000 |
| <i>Düşmanlık</i> | K | 18.11±5.049 | -4.472 |
| | E | 20.71±6.618 | .000 |
| <i>Dolaylı Saldırganlık</i> | K | 13.52±4.238 | -6.651 |
| | E | 17.04±6.622 | .000 |
| Çiftler Arası Şiddeti Kabul Etme Ölçeği | K | 15.373±1.13 | -7.333 |
| | E | 21.28±2.39 | .001 |
| <i>Erkeğin Kadına Uyguladığı Şiddet</i> | K | 3.92±1.536 | -8.116 |
| | E | 5.97±2.677 | .000 |
| <i>Kadının Erkeğe Uyguladığı Şiddet</i> | K | 4.60±2.299 | -4.604 |
| | E | 5.80±2.554 | .000 |
| <i>Genel Çiftler Arası Şiddeti Kabul Etme</i> | K | 6.86±2.833 | -6.643 |
| | E | 9.52±4.166 | .000 |

*K (Kadın)= 312; **E (Erkek)=129; \bar{X} =ortalama, SD=Standart sapma

Okullar arası TCA Ölçeği t testi sonucuna göre; BESYO'da öğrenim gören öğrencilerin TCA'nın Ebelik Bölümündeki öğrencilere göre daha olumlu olduğu bulunmuştur (\bar{X} =91.07, $p<0.05$). Okullar arası TCAÖ alt boyutları t testi sonucuna göre; Ebelik Bölümü öğrencilerin geleneksel cinsiyet rolünde BESYO öğrencilerine göre anlamlı derecede farklılık ile daha geleneksel rol tuttuğu (\bar{X} =25.24, $p<0.05$). BESYO öğrencilerinin ise daha eşitlikçi (\bar{X} =20.27, $p<0.05$) olduğu bulunmuştur. SÖ alt boyutları puan ortalamaları okullara göre karşılaştırıldığında; BESYO'da okuyan öğrencilerin, Ebelik Bölümü öğrencilerine göre puan ortalamaları anlamlı olarak daha yüksek bulunmuştur ($p<0.05$). Öğrencilerin okullarına göre ÇAŞKE Ölçeği alt boyutları puanları karşılaştırıldığında; SÖ'ne benzer sonuçlar elde edilmiştir. BESYO'da okuyan öğrencilerin ÇAŞKE puan ortalamalarının, Ebelik Bölümü öğrencilerinin ortalamalarına göre yüksek, istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür ($p<0.05$) (Tablo 3).

Tablo 3. Okullar arası ölçeklerim puan ortalamalarının karşılaştırılması

| Ölçek | Okullar | $\bar{X} \pm SD^{***}$ | t p |
|---|---------|------------------------|-------------|
| Toplumsal Cinsiyet Algısı Ölçeği | Ebelik | 82.94±9.440 | -7.825 |
| | BESYO | 91.07±12.344 | .000 |
| Toplumsal Cinsiyet Roller Ölçeği | | | |
| <i>Eşitlikçi Cinsiyet Rolü</i> | Ebelik | 18.59±3.108 | -4.957 |
| | BESYO | 20.27±3.833 | .000 |
| <i>Kadın Cinsiyet Rolü</i> | Ebelik | 16.24±3.399 | -7.285 |
| | BESYO | 18.98±4.304 | .000 |
| <i>Evlilikte Cinsiyet Rolü</i> | Ebelik | 19.35±3.518 | -6.131 |
| | BESYO | 22.34±6.061 | .000 |
| <i>Geleneksel Cinsiyet Rolü</i> | Ebelik | 25.24±3.407 | 2.912 |
| | BESYO | 24.28±3.456 | .004 |
| <i>Erkek Cinsiyet Rolü</i> | Ebelik | 3.54±1.582 | -9.582 |
| | BESYO | 5.19±1.951 | .000 |
| Saldırganlık Ölçeği | | | |
| <i>Fiziksel Saldırganlık</i> | Ebelik | 17.08±6.568 | -6.640 |
| | BESYO | 21.42±6.990 | .000 |
| <i>Sözel Saldırganlık</i> | Ebelik | 12.36±3.570 | -4.633 |
| | BESYO | 14.57±5.841 | .000 |
| <i>Öfke</i> | Ebelik | 19.87±5.106 | -5.202 |
| | BESYO | 23.35±8.125 | .000 |
| <i>Düşmanlık</i> | Ebelik | 18.16±5.132 | -2.883 |
| | BESYO | 19.75±6.185 | .003 |
| <i>Dolaylı Saldırganlık</i> | Ebelik | 13.16±4.105 | -6.155 |
| | BESYO | 16.29±6.062 | .000 |
| ÇAŞKE Ölçeği | | | |
| <i>Erkeğin Kadına Uyguladığı Şiddet</i> | Ebelik | 3.87±1.467 | -7.071 |
| | BESYO | 5.33±2.558 | .000 |
| <i>Kadının Erkeğe Uyguladığı Şiddet</i> | Ebelik | 4.47±2.168 | -4.600 |
| | BESYO | 5.33±2.621 | .000 |
| <i>Genel Çiftler Arası Şiddeti Kabul Etme</i> | Ebelik | 6.75±2.730 | -5.960 |
| | BESYO | 8.74±3.994 | .000 |

Ebelik (n=246), BESYO (n=195); \bar{X} =ortalama, SD=Standart sapma

Öğrenimi süresince şiddet ile ilgili konularda eğitim alan (n=206) ve almayan (n=235) öğrencilerin SÖ ortalamaları karşılaştırıldığında; şiddet ile ilgili eğitim almayan öğrencilerin fiziksel saldırganlık alt boyutu ortalaması (\bar{X} =19.79), şiddet eğitimi alan öğrencilerin ortalamalarına göre (\bar{X} =18.09) anlamlı olarak yüksek bulunmuştur (p<0.05). Sözel saldırganlık alt boyutunda şiddet eğitimi alan ve almayan öğrencilerin ortalamaları arasında anlamlı farklılık bulunmamıştır (p>0.05). Öfke ve dolaylı saldırganlık alt boyutlarında şiddet eğitimi almayan öğrencilerin ortalamaları sırasıyla \bar{X} =22.29 ve \bar{X} =15.22'dur. Gruplar arasındaki fark anlamlı bulunmuştur (p<0.05). Düşmanlık alt boyutunda şiddet eğitimi alan ve almayan öğrencilerin puan ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmamıştır (p>0.05). Şiddetle ilgili eğitim almayan (\bar{X} =90.25) öğrencilerin eğitim alanlara (\bar{X} =83.63) göre SÖ toplam puan ortalaması anlamlı ve yüksek bulunmuştur (p<0.05) (Tablo 4).

Öğrencilerin çift şiddetini kabul düzeyleri ile TCR arasında ilişki olup olmadığını değerlendirmek için yapılan korelasyon analiz sonuçlarına göre, genel olarak ÇAŞKE düzeyi ile erkek cinsiyet rolü arasında orta düzeyde anlamlı ilişki (r=0.0443, p<0.001) ve kadına erkeğin uyguladığı şiddeti kabul etme ile evlilikte cinsiyet rolü arasında orta düzeyde anlamlı ilişki bulunmuştur (r=0.423, p<0.001). Aileleri tarafından şiddete uğrayan kişilerin (n=84), erkeğe kadının uyguladığı şiddeti kabul etme ortalamalarının daha düşük ve istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir (p<0.001) (Tablo 5).

Tablo 4. Öğrenimi süresince şiddet ile ilgili konularda eğitim alma durumuna göre SÖ puan ortalamalarının dağılımı

| Saldırganlık Ölçeği | Şiddet Eğitimi Alma | $\bar{X} \pm SD^{***}$ | t p |
|-----------------------|---------------------|------------------------|--------|
| Fiziksel Saldırganlık | Evet | 18.09±6.545 | -2.525 |
| | Hayır | 19.79±7.454 | .012 |
| Sözel Saldırganlık | Evet | 12.99±5.613 | -1.411 |
| | Hayır | 13.64±4.013 | .159 |
| Öfke | Evet | 20.42±5.470 | -2.288 |
| | Hayır | 22.29±7.739 | .004 |
| Düşmanlık | Evet | 18.37±5.645 | -1.704 |
| | Hayır | 19.29±5.667 | .089 |
| Dolaylı Saldırganlık | Evet | 13.77±4.378 | -2.904 |
| | Hayır | 15.22±5.904 | .004 |
| SÖToplam | Evet | 83.63±22.107 | -2.932 |
| | Hayır | 90.25±24.792 | .004 |

Evet (n=206), Hayır (n=235); \bar{X} =ortalama, SD=Standart sapma

Tablo 5. Üniversite Öğrencilerinin ÇAŞKE Düzeyleri ile TCRÖ Puanları Arasındaki İlişki

| ÇAŞKE Ölçeği | r p* | Eşitlikçi | Kadın | Evlilikte | Geleneksel | Erkek |
|--|---------|---------------|-----------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Genel Olarak ÇAŞKE | r p | 0.194 .000 | 0.347 .000 | 0.169 .000 | -.107 .025 | 0.443 .000 |
| Erkeğin Kadına Uyguladığı Şiddeti Kabul Etme | r p | 0.298 .000 | 0.423 .000 | 0.247 .007 | -.092 .054 | 0.475 .005 |
| Kadının Erkeğe Uyguladığı Şiddeti Kabul Etme | r p | 0.199 .000 | 0.217 .000 | 0.130 .007 | -.027 .579 | 0.315 .000 |

*p<0.01, r=Pearson korelasyon katsayısı

4. Tartışma

Üniversite öğrencilerinde toplumsal cinsiyet, saldırganlık ve çiftler arası şiddeti kabul etme durumlarını belirlemeyi amaçlayan bu çalışmada öğrencilerin %45'i çiftler arasında şiddete tanık olurken; %19'u ailesi tarafından şiddete uğradığı belirlenmiştir. Aile içinde şiddet ile ilgili literatür tarandığında dünya genelinde pek çok ülkede farklı oranlarda yaşandığı bulunmuştur. Japonya'da %15, Etiyopya'nın kırsal kesimlerinde %71 oranında [11]; Türkiyede ise her 10 kadından 4'ü aile içi şiddeti yaşamaktadır [12]. Aile için şiddetin bu denli yaygın olması gençlerin davranışlarını etkilemektedir. Şiddet eylemlerine tanık olabilir veya duyabilir, ebeveyn şiddetini kendileri yaşayabilir veya her ikisini birden yaşayabilirler [13]. Şiddete çocukluktan maruz kalma, şiddet döngüsünün devam etmesi gibi yıkıcı etkileri olabilmektedir. En yaygın iki biçim, ebeveynlerden çocuğa şiddet ve ebeveynler arası şiddete tanık olma sıklıkla birlikte ortaya çıkar [14] ve bireyin yaşam seyri boyunca zararlı etkileri vardır. Bu çalışmada öğrencilerin yarısına yakını şiddete tanık olurken, neredeyse % 20'si şiddete maruz kalmıştır.

Son yıllarda, aile içi şiddet de dahil olmak üzere şiddet içeren mağduriyetlerin etiyojisini incelemeye yönelik akademik ilgide bir artış olmuştur. Şiddet araştırmaları, topluluk özelliklerinin önemli rolünü vurgulamaktadır. Özellikle toplumsal cinsiyetin saldırganlık ve şiddet üzerindeki rolü azımsanamayacak kadar fazladır. Literatürde, erkeklerin ve kadınların toplumsal cinsiyete dayalı beklentilerinin şiddet oranlarını, özellikle de cinsiyete dayalı suçları etkileyebileceğini göstermektedir [15]. Bu çalışmada üniversite öğrencilerinin cinsiyete dayalı toplumsal cinsiyet, saldırganlık ve şiddet düzeylerini incelendiğinde; erkek öğrencilerin kadın öğrencilere göre toplumsal cinsiyete karşı daha olumlu bakış açılarına sahip oldukları ancak çiftler arasında ortaya çıkan şiddeti erkek öğrencilerin kabul etme düzeylerinin daha yüksek olduğu bulunmuştur. Saldırganlık seviyesi ise her iki cinsiyette de normal seviyededir (Tablo 2). Literatür incelendiğinde toplumsal cinsiyet tutumuna yönelik cinsiyetler arasında farklılıklar olduğu görülmektedir. Ramos-Galarza ve ark.'nın [16] üniversiteli öğrenciler üzerinde yaptıkları çalışmada kadın öğrencilerin erkeklere göre cinsiyet eşitliğine daha fazla eğilim gösterdikleri bulunmuştur [16]. Ülkemizde üniversite öğrencileri üzerinde yapılan çalışmalar incelendiğinde ise sağlık öğrencileri üzerinde Ergin ve ark. [17], Belli ve Aynacı [18], Çifçi ve ark. [19] (2017) kadın öğrencilerin TCRÖ'ne göre tutumlarının erkeklere göre daha yüksek bulunmuştur. Aynı zamanda 12 üniversitenin katıldığı eğitim fakültesi öğrencileri üzerinde yapılan çalışmada da benzer sonuçlar bulunmuştur [20]. Bu çalışmada erkek öğrencilerin TCRÖ tutumlarının yüksek bulunması sporun ve yanında getirdiği rekabet-işbirlikçi anlayışların toplumsal cinsiyet üzerinde olumlu bir etkisi olduğunu düşündürmektedir.

Türkiye'de yapılan toplumsal cinsiyet konulu çalışmalar incelendiğinde erkeklerde geleneksel cinsiyet rol tutumunun daha fazla olduğu görülmektedir [21,22]. Bu çalışmada ise kadınların geleneksel rol tutumlarının erkeklere göre istatistiksel olarak daha fazla olduğu görülmektedir (Tablo 2). Bulgulardaki bu farklılıkların örneklemdeki bireylerin yetiştikleri aile ortamında kadın ve

erkeğe verilen toplumsal cinsiyet rollerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca bu çalışmada erkek öğrencilerin eşitlikçi, kadın, evlilikte ve erkek cinsiyet rolünün daha yüksek bulunması, onların geleneksel bakış açıdan uzak bir ailede yetiştiklerini göstermektedir. Bu roller bölümler arası incelendiğinde kız popülasyonun ebelik, erkek popülasyonun beden eğitimi bölümünde fazla olması nedeniyle ebelik öğrencilerinin daha geleneksel, beden eğitimi öğrencilerinin daha eşitlikçi cinsiyet rolünü benimsedikleri görülmektedir (Tablo 3).

Bu çalışmada şiddet ile saldırganlık incelendiğinde ise; kadın öğrencilere göre erkek öğrencilerin daha saldırgan oldukları görülmüştür. Bu sonucun yordayıcısı olarak hem cinsiyet hem de sporcu olmaları gösterilebilmektedir. Literatür incelendiğinde erkek ve spor okuyan/yapan öğrencilerin diğer öğrencilere göre daha saldırgan oldukları görülmektedir [23,24]. Testosteron düzeyinin erkeklerde fazla olması gibi biyolojik faktörler nedeniyle erkeklerin kadınlara göre daha fazla saldırgan olduğu bilinmektedir [25]. Fiziksel faktör açıdan incelendiğinde ise spor müsabakaları, hırs ve rekabet gibi unsurların spor yapan/okuyan bireylerde daha yüksek olması nedeniyle saldırganlığın bu öğrencilerde fazla olduğu düşünülmektedir. Yukarıda bahsedilen toplumsal cinsiyet tutumunda olduğu gibi beden eğitimi ve spor yüksekokulunda erkek öğrencilerin fazla olması nedeniyle bölümler arası farklılıkların olduğu düşünülmektedir (Tablo 2 ve Tablo 3) [26].

Sosyal bir fenomen olan, cinsiyete dayalı şiddet yalnızca yetişkinlikte değil aynı zamanda gençlik ve ergenlik üzerinde de giderek daha büyük bir etkiye sahip olmaktadır [27]. Cinsiyete dayalı şiddet dünya çapında çok kullanılan kavramlardan birisidir ve “bireye cinsiyeti veya toplumsal cinsiyeti temelinde yöneltilen şiddet” olarak tanımlanmaktadır (OCHCR). Bu çalışmada öğrencilerin cinsiyete dayalı şiddet düzeyleri incelendiğinde erkek ve BESYO’da okuyan öğrencilerin ÇAŞKE ortalamaları, kadın ve ebelik bölümü öğrencilerinin ortalamalarına göre istatistiksel olarak anlamlı biçimde yüksek olduğu görülmüştür (Tablo 2 ve Tablo 3). Bu sonucun saldırganlık ölçüğü ile benzer nedenlerden dolayı olduğu düşünülmektedir.

Öğrencilerde şiddet ile ilgili eğitim almanın saldırganlık davranışı üzerinde etkileri olduğu bulunmuştur. Eğitim almayan öğrencilerin şiddete eğiliminin daha fazla olduğu görülmektedir (Tablo 4). Literatür incelendiğinde şiddete yönelik verilen eğitimlerin saldırganlık üzerinde etkisi olduğu bulunmuştur. Akan ve Kıran’ın [28] çalışmasında, eşine şiddet uygulayan erkeklerin şiddeti azaltma ve psiko-eğitim programından sonra saldırganlık davranışlarının azaldığı görülmüştür. Bu sonuçla verilen eğitimin davranış değişikliği konusunda olumlu yönleri olduğunu düşündürmektedir.

Çalışmanın sonucunda erkek öğrencilerin şiddeti kabul ettiği gözlenmektedir. Kadınlarmın özellikle ebelerin cinsiyet algısının daha geleneksel olduğu belirlenmiştir. Ebelik bölümünde sürekli kadın, şiddet ve şiddeti önleme, güçlü kadın olma gibi konularda dersler işlenmesine rağmen kendi davranış ve uygulamaları söz konusu olduğunda hala geleneksel düşündükleri ve davrandıkları gözlenmiştir. Bu toplumsal cinsiyet algısının ailede geliştiğini düşündürmektedir. Ailede kadının güçlendirilmesi bu nedenle önemlidir. Çocuk yetiştirmede anne ve baba rolünü yaşama biçimi önem kazanmaktadır.

5. Sonuç ve Öneriler

Araştırma sonucunda erkek öğrencilerin şiddeti daha fazla kabul ettikleri ve eğitimde şiddet derslerinin etkilerinin küçük de olsa olumlu olduğu söylenebilir. Ebelik öğrencilerinin kendi davranış ve uygulamaları söz konusu olduğunda hala geleneksel düşündükleri ve davrandıkları gözlenmiştir. Öğrencilerde şiddet ile ilgili eğitim almanın saldırganlık davranışı üzerinde etkileri olduğu saptanmıştır.

Araştırma bulguları ayrıca, çocukluk ve/veya ergenlik döneminde aile içi şiddete maruz kalan öğrencileri desteklemek için çok sayıda çıkarımlara sahiptir. İlk olarak, üniversite öğretim görevlilerine ve akademik danışmanlara, çocuklukta aile içi şiddete maruz kalmanın, psikolojik sıkıntı ve genç erişkinlikteki uyum güçlükleri de dahil olmak üzere olumsuz sonuçları hakkında psiko-eğitim materyalleri sağlanmalıdır. Ayrıca, öğrencilerin toplumda ve üniversitelerdeki danışma merkezleri ile diğer ruh sağlığı kurumlarıyla bağlantı kurmaları için hangi adımların atılabileceği öğretilmelidir. İkincisi, öğrenciler de bu psiko-eğitim faaliyeti bilgilerinden faydalanabilir ve ilgili danışma merkezleri hakkında bildirilmelidir. Üçüncüsü, üniversite danışma merkezlerinde çalışan danışmanlar ve diğer ruh sağlığı uygulayıcıları, aile içi şiddete maruz kalmanın olumsuz psikolojik sonuçlarını azaltmaya ve çeşitli koruyucu faktörleri teşvik etmeye vurgu yaparak, belirli müdahale programlarıyla ilgili kapsamlı eğitime sahip olmalıdır. Ayrıca öğrencilerin sosyal işlevleri ve sosyal destek ağlarının genişletilmesi önerilir. Bu sonuçlarla ilgilenen terapötik müdahaleler, öğrencilere yardımcı olmayı ve olumsuz olaylara maruz kalmanın duygusal zorlukların gelişimine önemli ölçüde nasıl katkıda bulunduğunu anlamayı amaçlamalıdır.

Teşekkür

Bu çalışmaya katılan öğrencilere en içten teşekkürlerimizi sunarız.

Kurumsal ve Finansal Destek Beyanı

Bu araştırma herhangi bir kuruluş tarafından desteklenmemiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar, bu makale ile ilgili olarak herhangi bir potansiyel çıkar çatışması beyan etmemektedir.

Referanslar

- [1] U. G. Assembly, “Convention on the elimination of all forms of discrimination against women”, 1979 [Retrieved April, 20, 2006].
- [2] G. Shannon, M. Jansen, K. Williams, C. Cáceres, A. Motta, A. Odhiambo, et al. (2019). Gender equality in science, medicine, and global health: where are we at and why does it matter?. *The Lancet*, vol.393,no.10171, pp.560-569,2019.
- [3] G. R. Gupta, N. Oomman, C. Grown, K. Conn, S. Hawkes, Y. R Shavar, et al. Gender equality and gender norms: framing the opportunities for health. *The Lancet*, vol. 47, no.10190, pp. 2550-2562, 2019.
- [4] UN Women Office of the Special Advisor to the Secretary General on Gender Issues and the Advancement of Women. (Erişim Adresi: <https://www.un.org/womenwatch/osagi/conceptsanddefinitions.htm>), (Erişim Tarihi: 18.11.2022).
- [5] C. L. Yodanis, “Gender inequality, violence against women, and fear: A cross-national test of the feminist theory of violence against women”, *Journal of Interpersonal Violence*, vol.19, no.6, pp. 655-675, 2004.
- [6] X. Jiang, “Confucianism, women, and social contexts”, *Journal of Chinese philosophy*, vol.36, no.2, pp. 228-242, 2009.
- [7] G. B. Forbes, L. E. Adams-Curtis, & K. B. White, “First-and second-generation measures of sexism, rape myths and related beliefs, and hostility toward women: Their interrelationships and association with college students’ experiences with dating aggression and sexual coercion”, *Violence Against Women*, vol.10, no.3, pp.236-261, 2004.
- [8] H.H. Altınova ve V. Duyan, “Toplumsal cinsiyet algısı ölçeğinin geçerlik güvenirlik çalışması”, *Toplum ve Sosyal Hizmet*, vol.24, no.2, pp.9-22, 2013.
- [9] S. Can, Aggression Questionnaire adlı ölçeğin Türk popülasyonunda geçerlilik ve güvenirlik çalışması. Uzmanlık Tezi, Genel Kurmay Başkanlığı Gülhane Askeri Tıp Akademisi Haydarpaşa Eğitim Hastanesi, İstanbul,2002.
- [10] Ö. Sezer, “Çiftler Arası Şiddeti Kabul Ölçeğinin Türkçeye Uyarlanması: Geçerlik ve Güvenirlik Çalışmaları”, *İnönü Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, vol.9, no.16, 2008.
- [11] A. Semahegn, & B.Mengistie, “Domestic violence against women and associated factors in Ethiopia; systematic review”, *Reproductive Health*, vol.12, no.1, pp.1-12, 2015.
- [12] Nüfus Etütleri Enstitüsü, Türkiye’de Kadına Yönelik Aile İçi Şiddet Araştırması. (Erişim Adresi: <http://www.openaccess.hacettepe.edu.tr:8080/xmlui/bitstream/handle/11655/23338/KKSA-TRAnaRaporKitap26Mart.pdf?sequence=1&isAllowed=y>) (Erişim Tarihi: 21.11.2022), 2015.
- [13] E. Maneta, S. Cohen, M. Schulz, & R. J. Waldinger, “Links between childhood physical abuse and intimate partner aggression: The mediating role of anger expression”, *Violence and Victims*, vol. 27, no.3, pp.315-328, 2012.
- [14] S. Hamby, D.Finkelhor, H. Turner, R. Ormrod, “The overlap of witnessing partner violence with child maltreatment and other victimizations in a nationally representative survey of youth”, *Child Abuse and Neglect*, vol.34, no.10, pp.734-741, 2010.
- [15] A. Goodson, & L. A. Bouffard, “Social disorganization and gender equality as correlates of family violence and rape”, *Journal of Crime and Justice*, vol. 42, no.3, pp.274-287, 2019.
- [16] C. Ramos-Galarza, D.Apolo, S.Peña-García, & J. Jadán-Guerrero, “Gender differences towards gender equality: Attitudes and perceptions of college students”, *Review of European Studies*, vol.10, p.61, 2018.
- [17] A. Ergin, T. Bekar, & G. Aydemir Acar, “Tıp Fakültesi Öğrencilerinin Toplumsal Cinsiyet Rollerine Yönelik Tutumları ve Etkileyen Faktörler”, *Fırat Tıp Dergisi*, vol.24, no.3, 2019.
- [18] A. Belli, ve G. Aynacı, “Üniversite Öğrencilerinin Toplumsal Cinsiyet Rollerine Algısı: Kadınlar Kendilerini Nasıl Güçlendirebilir?”, *OPUS International Journal of Society Researches*, vol.15,no.26, pp.4208-4229, 2020.
- [19] S. Çifçi, V. B. Değer, N. Bayram, “Üniversite Öğrencilerinin Toplumsal Cinsiyet Algıları:‘Mardin Artuklu Üniversitesi Örneği’”, *Uluslararası Hakemli Ekonomi Yönetimi Araştırmaları Dergisi*, vol.37, no.14, 2017.
- [20] T. A. Erdol, F. Özen, & Ç. Toraman, “Türkiye'deki Eğitim Fakültesi Öğrencilerinin Toplumsal Cinsiyet Eşitliğine Yönelik Görüşleri”, *Journal of Kırşehir Education Faculty*, vol.20, no.2, 2019.
- [21] O. Altuntaş, H.H. Altınova, “Toplumsal cinsiyet algısı ile sosyo-ekonomik değişkenler arasındaki ilişkinin belirlenmesi”, *Turkish Studies (Elektronik)*, vol.10, no.6, pp.83-100,2015.
- [22] D. V. Yılmaz, S. Zeyneloğlu, S. Kocaöz, S. Kısa, L. Taşkın, K. Eroğlu, “Üniversite öğrencilerinin toplumsal cinsiyet rollerine ilişkin görüşleri”, *Uluslararası İnsan Bilimleri Dergisi*, vol.6, no.1, pp.775-792, 2009.
- [23] İ. Şeker, & T. Uslu, “Spor yapan ve spor yapmayan üniversite öğrencilerinin sosyal beceri, saldırganlık ve spor ahlaki düzeylerinin incelenmesi: Harran üniversitesi örneği”, *Spor Eğitim Dergisi*, vol. 4, no.2, pp.172-189,2020.
- [24] G. Bostan, & E. Kılıçgil, “Beden eğitimi ve spor yüksekokulu öğrencisi olan ve olmayan ankara üniversitesi öğrencilerinin saldırganlık boyutları”, *Spor metre Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*,vol. 6, no.3, pp.133-140,2008.
- [25] C. A. Anderson, & L. R. Huesmann, Human aggression: A social cognitive view. In Hogg M. A. & Cooper J. (Eds.), *The Sage Handbook of Social Psychology* (pp. 221-248). Thousand Oaks, CA: Sage Publications,2003.
- [26] L. A. Keeler, “ The Differences in Sport Aggression, Life Aggression, and Life Assertion Among Adult Male and Female Collision, Contact, and Non-Contact Sport Athletes”, *Journal of Sport Behavior*, vol.30,no.1, 2007.

- [27] E. Borrajo Mena, & M. Gámez Guadix, “Comportamientos, motivos y reacciones asociadas a la victimización del abuso online en el noviazgo: un análisis cualitativo”, *Journal of Victimology*, vol.2, pp.73-95,2015.
- [28] Y. Akan, & B. Kıran, “Şiddeti azaltma psiko-eğitim programı'nın (ŞAPP) eşine şiddet uygulayan erkeklerin saldırganlık, duygu yönetimi ve ilişki özyeterlik düzeylerine etkisinin incelenmesi”, *Kadem Kadın Araştırmaları Dergisi*, vol.5,no.1, pp.31-65, 2018.
- [29] S. Zeyneloğlu, “Ankara’da Hemşirelik Öğrenimi Gören Üniversite Öğrencilerinin Toplumsal Cinsiyet Rollerine İlişkin Tutumları”. Yayımlanmamış Doktora Tezi. Ankara: Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, 2008.

Effects of Additives on Concrete-Rebar Adherence

Kemal Tuşat Yücel ^{a, 1}, Kemal Muhammet Erten ^b

^aSuleyman Demirel University, Faculty of Engineering, Isparta, Turkey
ORCID ID: 0000-0001-7684-0784

^bIsparta University of Applied Sciences, Yalvaç Technical Sciences Vocational School, Isparta, Turkey
ORCID ID: 0000-0001-5181-4109

Abstract

In composite reinforced concrete elements formed by concrete and rebar, only if these two materials work together, reinforced concrete elements can fully function. The significant factor that will ensure working together is the bond strength, which is called adherence. The higher the value of this force, the harder the rebar is to pull out from the concrete. In this experimental study, the effect of concrete additives and aggregate type on the bond strength and the amount of elongation of the reinforcement without stripping from the concrete was investigated. For this purpose, 28-day compressive strength and adherence force and reinforcement elongation amounts of the concrete mixtures produced by using mineral, chemical and fiber additives for two different aggregate series, crushed stone and gravel, and two different cement dosages, were observed. In addition, by using 3 different rebar in terms of diameter and surface properties, the effect of these properties on concrete-rebar adherence was revealed. As a result of the study, the use of crushed stone aggregate, hyperplasticizer additive, mineral additive and ribbed rebar with 18mm diameter increased the bond strength compared to the reference samples.

Keywords: “Concrete, concrete-rebar adherence, mineral additive, chemical additive, fiber additive.”

1. Giriş

Dünyada en yaygın olarak kullanılan yapı malzemesi olan betonun uzun yıllardır çeşitli katkı maddeleriyle işlenebilirlik, dayanım, dayanıklılık gibi özellikleri iyileştirilmeye çalışılmaktadır [1-4].

Bu amaçla kullanılan katkı maddeleri mineral, kimyasal ve fiber katkılar olarak ana başlıklar altında ele alınabilirler [5]. Katkı maddeleri fiziksel ve kimyasal yapıları itibarı ile, taze ve sertleşmiş beton özelliklerine farklı etkiler yapmaktadırlar [6-10].

Genel hatlarıyla; çimento hamuru ve agrega taneleri arasındaki temas yüzeyinin betonun en zayıf halkası olması nedeniyle bu fazın iyileştirilmesi amacıyla beton karışımında boşluk doldurma ve bağlayıcılık özelliği olan mineral katkılar [11], betonun işlenebilirlik özelliğini geliştirmek amacıyla kimyasal katkılar [12], tokluk, çatlak ve darbe direncine katkı sağlaması amacıyla da fiber katkılardan [6] yararlanılmaktadır. Bu katkılar sayesinde sadece dayanım özellikleri değil durabilite açısından da betonun kalitesi artmaktadır [1, 13-15].

Beton-donatı ara yüz kalitesinin artırılmasının aderans (kenetlenme) dayanımını artırdığı bilinmektedir [16]. Mineral katkılarının ince yapıları sayesinde mikroyapıyı iyileştirme etkisi ile [16], fiber katkılarının ise beton içerisinde çatlak ilerlemesini azaltma özellikleri ile bu yapıyı güçlendirmesi [17] aderans dayanımını olumlu etkilemektedir.

Deprem kuşağında olan ülkemiz için betonarme elemanlarda özellikle beton-donatı aderansı da kaliteli beton üretimi kadar önemli ve ele alınması gereken bir konudur. Beton-donatı arasındaki aderans için nervürlü donatıların kullanımı [18, 19] şüphesiz çok önemlidir. Nervürlü donatı kullanımının ülkemizde zorunlu kılınması, donatının betonla olan kenetlenmesini geliştirerek deprem anında donatının betondan sıyrılma olasılığının azaltılması için önemli bir adım olmuştur.

Çalışmada; kırmataş ve çakıl agregalarla üretilen betonlar için, kimyasal katkı olarak süper ve hiper akışkanlaştırıcı katkılar, mineral katkı olarak uçucu kül ve silis dumanı ve polipropilen fiber katkı kullanılarak üretilen betonların basınç dayanımları kıyaslanmış ayrıca 14 mm çapında düz ve nervürlü donatılar ile 18 mm çapında nervürlü donatı kullanılarak bu betonların

¹ Corresponding author. Tel.: 0246-211-14-18
E-mail address: tusat2001@hotmail.com

donatıyla aderansı, pull out (çekip çıkarma) deneyi ile kontrol edilmiştir. İki farklı çapta nervürlü demir kullanılarak çapın aderansa etkisi ve düz demir kullanılarak da nervürün aderansa etkisi incelenmiştir.

DeneySEL olarak yürütülen çalışma ile; agrega, beton katkıları, donatı çap ve yüzey dokusu, çimento dozajı gibi betonarme elemanların temel bileşenlerinde yapılan değişiklikler ile sadece beton basınç dayanımı değil aderans kuvveti ve yük altında donatıda meydana gelebilecek uzama miktarlarına ilişkin kapsamlı bir araştırma yapılmıştır. Çalışmada, aderans deneyi 30 ton tük kapasiteli hidrolik prensiple çalışan pull-out deney cihazıyla yapılmıştır. Çalışmada kullanılan pull out deney cihazı 106 M155 Sayılı TÜBİTAK Projesi ile Doç. Dr. Kemal Tuşat YÜCEL tarafından tasarlanmıştır.

2. Materyal ve Metod

DeneySEL olarak yürütülen çalışmada; CEM I 42,5 R tipi çimento kullanılmıştır, kullanılan agrega türleri kırmataş I, kırmataş II, çakıl I ve çakıl II'dir. Agregaların farklı şekillerde birleşimiyle 2 tip karışım oluşturulmuştur.

Karışım 1 için; kırmataş I, kırmataş II ve kum,

Karışım 2 için; çakıl I, çakıl II, kırmataş II ve kum kullanılmıştır.

Katkı olarak; polinaftelen (süper) ve polikarboksilat (hiper) esaslı kimyasal katkıları, Çatalağzı (F tipi) ve Seyitömer (C tipi) termik santrallerinden elde edilen uçucu küller, Antalya Etibank Ferrokrom fabrikasından temin edilen silis dumanı (ferrosilisyum (FeSi)) ve polipropilen fiber katkı kullanılmıştır.

2.1. Deneylerde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

Tablo 1. Agregaların tane yoğunlukları ve su emme oranları

| Agrega Kodu | Görünen Tane Yoğunluğu (Mg/m ³) | Su Emme Oranı (%) | Kütle oranı |
|-------------|---|-------------------|-------------|
| KTI | 2.80 | 0.81 | |
| KTII | 2.72 | 0.60 | |
| ÇI | 2.70 | 0.60 | |
| ÇII | 2.69 | 0.50 | |
| Kum | 2.56 | 1.27 | |

Tablo 2. Çimentonun özellikleri

| Kimyasal analiz (% Kütle) | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------------|--------------------------------|------------------|-------------------------------------|-----------------------------|-------------------|--|-------------------|--------|--------|--------|--------|
| SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | SO ₃ | K.K. | Ç.K | Cl ⁻ | S.CaO | A.Z | | |
| 17.52 | 4.06 | 3.45 | 56.56 | 1.66 | 2.44 | 2.99 | 0.24 | 0.001 | 1.35 | 3.41 | | |
| Karma Oksit Bileşenleri (Bogue) (%Kütle) | | | | | | | | | | | | |
| C ₃ S | | | C ₂ S | | | C ₃ A | | C ₄ AF | | | | |
| 54.57 | | | 8.26 | | | 4.92 | | 10.49 | | | | |
| Fiziksel ve mekaniksel özellikler | | | | | | | | | | | | |
| İncelik | | Priz Süreleri | | Tane Yoğunluğu (Mg/m ³) | Blaine (m ² /kg) | Le Chatelier (mm) | Mukavemet Değerleri (N/mm ²) | | | | | |
| 200 µ | 90 µ | Başlangıç | Bitiş | | | | 2 gün | | 7 gün | | 28 gün | |
| | | | | | | | Eğilme | Basınç | Eğilme | Basınç | Eğilme | Basınç |
| 2.5 | 0.1 | 2s 55dk. | 3s 45dk. | 3.12 | 311 | 1 | 4.4 | 28.2 | 6.1 | 43.2 | 7.1 | 53.1 |

Tablo 3. Kimyasal katkının özellikleri

| Değerlendirme Kriteri | Süper (polinaftelen) | Hiper (polikarboksilat) |
|-------------------------------|----------------------|-------------------------|
| Bağlı Yoğ. (kg/l,20°C) | 1.21 | 1.1 |
| Katı madde (%) | 41.5 | 22.0 |
| pH | 6.0 | 3-7 |

Tablo 4. Uçucu küllerin kimyasal özellikleri

| Oksit (%) | Çatalağzı | Seyitömer |
|---|-----------|-----------|
| SiO ₂ | 57.5 | 54.38 |
| Al ₂ O ₃ | 25.53 | 20.6 |
| Fe ₂ O ₃ | 6.01 | 11.16 |
| S+A+F | 89.04 | 86.14 |
| CaO | 1.15 | 2.92 |
| MgO | 2.45 | 4.13 |
| SO ₃ | 0.18 | 0.59 |
| K ₂ O | 4.66 | 3.15 |
| Na ₂ O | 0.46 | 0.79 |
| KK | 1.12 | 3.01 |
| Cl- | 0.015 | 0.006 |
| Serb. CaO | 0.13 | 0.26 |
| Reak. SiO ₂ | 34.18 | 39.01 |
| Reak. CaO | 0.65 | 2.49 |
| Cr ₂ O ₃ | 0.02 | 0.06 |
| TiO ₂ | 1.19 | 0.89 |
| Rut % | 0.31 | 0.35 |
| Alkali Top | 5.12 | 3.93 |
| Görünen tane yoğunluğu (Mg/m ³) | 2.00 | 2.13 |

Tablo 5. Silis dumanının kimyasal özellikleri

| SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | S+A+F | CaO | MgO | SO ₃ | K ₂ O | Na ₂ O | Cr ₂ O ₃ | TiO ₂ |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|------|-----------------|------------------|-------------------|--------------------------------|------------------|
| 77.06 | 0.84 | 1.28 | 79.17 | 0.73 | 5.70 | 0.21 | 5.16 | 1.19 | 3.21 | 0.03 |

Tablo 6. Polipropilen fiber katkı özellikleri.

| Kimyasal Yapı (%) | Özgül Ağırlık (g/cm ³) | Ergime Noktası (°C) | Tutuşma Sıcaklığı (°C) | Özgül Yüzey Alanı (m ² /kg) | Alkali Direnci (%) | Çekme Dayanımı (N/mm ²) | Elastiklik Modülü (N/mm ²) |
|----------------------|------------------------------------|---------------------|------------------------|--|--------------------|-------------------------------------|--|
| 100 polipropilen lif | 0.91 | 160 | 365 | 250 | 100 | 300 – 400 | 4000 |

Tablo 7. Çelik donatı özellikleri

| Donatı Çapı | Akma | | Çekme | | Kopma uzama oranı (%) | E (kgf/mm ²) |
|-------------|-------|-----|-------|-----|-----------------------|--------------------------|
| | Kgf | MPa | kgf | Mpa | | |
| Ø 18 N | 12347 | 486 | 15231 | 599 | 21.7 | 20416 |
| Ø 14 N | 7936 | 523 | 9618 | 634 | 21.4 | 19013 |
| Ø 14 D | 4976 | 314 | 7422 | 469 | 31.1 | 21917 |

Beton karışım hesaplarında çökme en az 160mm olacak şekilde, kimyasal katkı oranı için ise terleme olmaksızın en fazla çökme veren katkı dozajı ve tipi dikkate alınmıştır. Mineral katkıları, çimento miktarının yüzdesi olarak belirlenmiştir. Uçucu kül %20, silis dumanı %10, silis dumanı + uçucu kül %10 + %10 oranlarında kullanılmıştır.

Beton üretimleri için yapılan kodlamalara ait kısaltmalar:

- Agregası tipi; K (Kırmatas), Ç (Çakıl)
- Silis dumanı; SD
- Polipropilen fiber katkı; F
- Uçucu kül; UF (F tipi), UC (C tipi)
- Kimyasal katkı; S (Polinaftelen), H (Polikarboksilat)
- 35; 350 kg/m³ dozlu beton, 40; 400 350 kg/m³ dozlu beton.
- Ø 18 N; 18 mm çapında Nervürlü donatı
- Ø 14 D; 14 mm çapında Düz donatı

Tablo 8. Yüzdece agrega karışım oranları

| Agrega Türü | Seri I | Seri II |
|-------------|-----------------------------|------------------------------|
| | İri Agregat (Salt Kırmataş) | İri agregat (Çakıl+Kırmataş) |
| Kırmataş I | 25 | -- |
| Kırmataş II | 20 | 10 |
| Çakıl I | -- | 20 |
| Çakıl II | -- | 15 |
| Kum | 55 | 55 |

2.2. Aderans Deneyi

Aderans deneyi için; öncelikle 15x15x60 cm boyutlardaki prizmatik kalıplara donatılar yerleştirilmiş ardından hazırlanan beton karışımları dökülerek kalıplanmıştır. Numuneler kür havuzunda bekletildikten sonra 28. gün aderans deneyi uygulanmıştır. Basınç deneyi numuneleri için benzer şekilde donatısız olarak küp numuneler hazırlanmış ve numuneler 28. gün kırılarak deney sonuçları elde edilmiştir.



Şekil 1. Aderans deneyi numuneleri



Şekil 2. Pull out deneyinin uygulaması



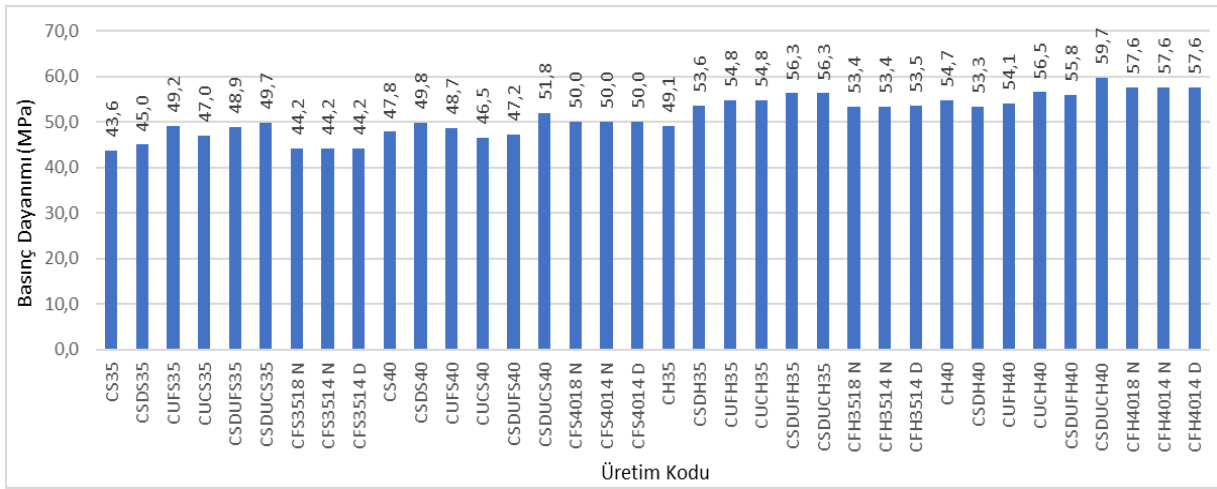
Şekil 3. Pull out deneyi sonrası (donatı sıyrıldıktan sonra) numune kesit görünümü

3. Bulgular ve Tartışma

Üretimlere ait deney sonuçlarına göre hazırlanan aşağıda verilen grafikler incelendiğinde:

Şekil 4'e göre; çakıllı seride en yüksek basınç dayanımı (59.7 Mpa) silis dumanı, C tipi uçucu kül ve Hiper akışkanlaştırıcı katkının birlikte kullanıldığı 400 dozlu betondan (CSDUCH40) elde edilmiştir. En düşük basınç dayanımı (43.6 Mpa) ise mineral ve fiber katkı kullanılmayan 350 dozlu CS35 betonundan elde edilmiştir.

Çakıllı seri için genel bir değerlendirme yapılırsa, çimento dozajı arttıkça beton basınç dayanımı artmıştır. Hiper akışkanlaştırıcı katkı basınç dayanımı değerlerini süper akışkanlaştırıcı katkıya göre artırıcı etki göstermiştir. Ayrıca mineral katkı kullanımı da genel olarak şahit numuneye kıyasla basınç dayanımı sonuçlarını artırmıştır. CS35 serisinde F tipi uçucu kül (CUFS35) ve silis dumanıyla uçucu küllerin birlikte kullanıldığı (CSDUFS35 ve CSDUC35) betonlarda, CS40 serisinde fiber katkı (CFS40) ve silis dumanıyla C tipi uçucu külün birlikte kullanıldığı (CSDUCS40) betonlarda, CH35 serisinde tüm katkı türleriyle üretilen betonlar için, CH40 serisinde ise Fiberli (CFH40) ve silis dumanıyla C tipi uçucu külün birlikte kullanıldığı (CSDUCH40) betonlarda şahit numunelere göre belirgin artışlar gözlenmiştir.

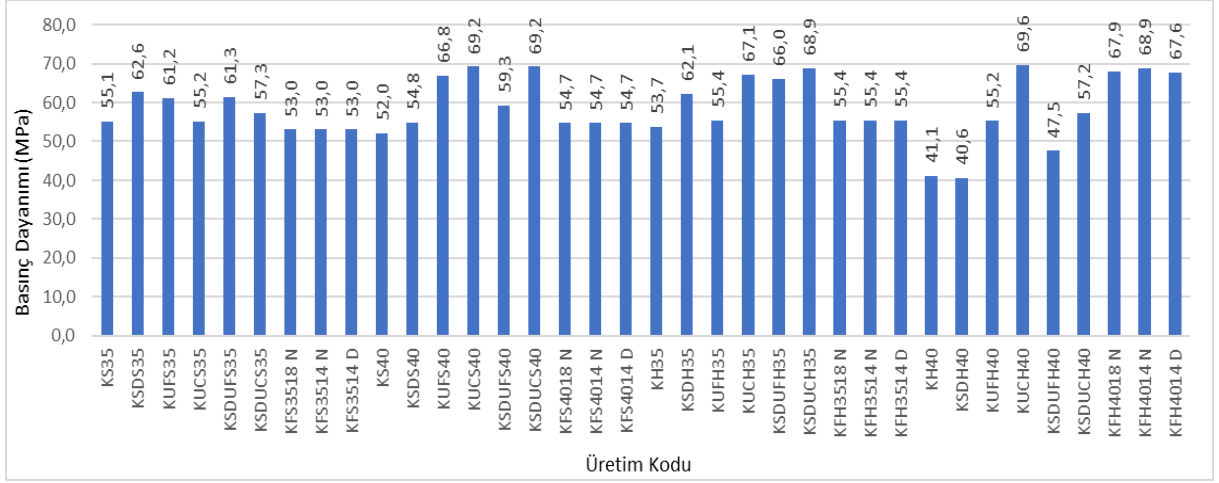


Şekil 4. Çakıllı seri beton numunelerine ait basınç dayanımı değerleri

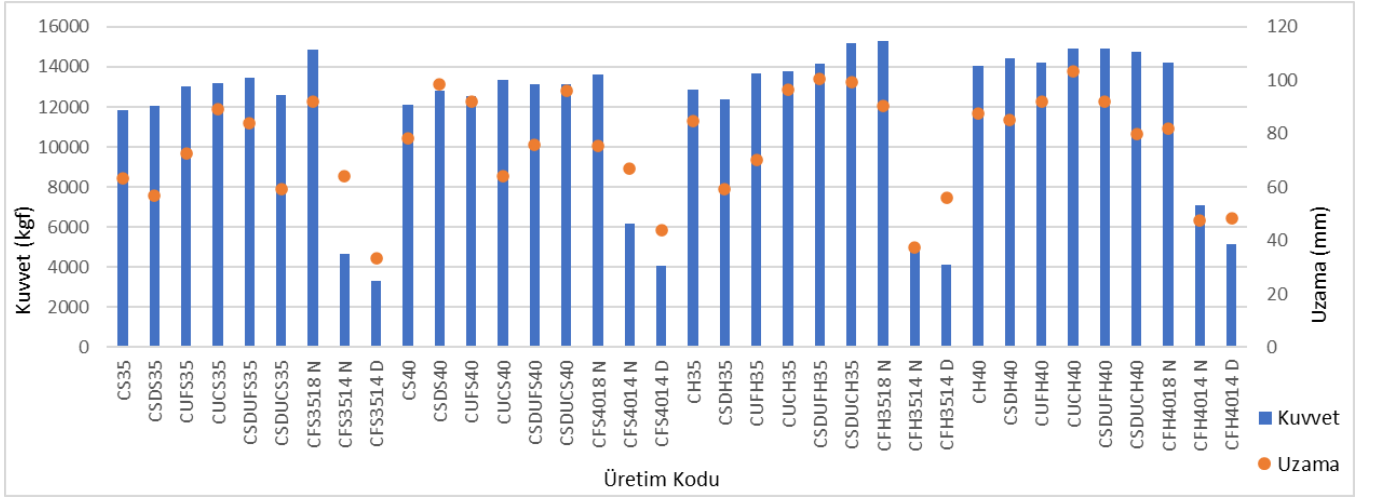
Şekil 5'e göre; kırmataşlı seride en yüksek basınç dayanımı (69.6 Mpa) C tipi uçucu kül ve Hiper akışkanlaştırıcı katkının birlikte kullanıldığı 400 dozlu betondan (KUCH40) elde edilmiştir. En düşük basınç dayanımı (40.6 Mpa) ise Silis dumanı ve Hiper akışkanlaştırıcı katkının birlikte kullanıldığı 400 dozlu betondan (KSDH40) elde edilmiştir.

Şekil 4 ve Şekil 5 birlikte değerlendirildiğinde, fiber katkıların çimento dozajı artışı ve hiper akışkanlaştırıcı katkı kullanımıyla daha etkili olduğu görülmüştür. Hiper akışkanlaştırıcı katkının fiber katkının beton içerisinde homojen dağılmasına yardımcı olmasının bu sonuç için etkili olduğu düşünülmüştür. Kırmataşlı serilerde mineral katkı kullanımı çakıllı serilere göre daha yüksek basınç dayanımı artışı sağlamıştır. Kırmataş agreganın köşeli yapısı nedeniyle beton içerisinde oluşan boşlukları, ince taneli yapısıyla mineral katkıların doldurması basınç dayanımı sonuçlarına olumlu yansımıştır. Yine kırmataş agreganın

köşeli yapısı sayesinde çimento hamuru agrega kenetlenmesinin daha iyi olması, ortalama olarak kırmataşlı seri numunelerinden çakıllı seri numunelerine göre daha yüksek basınç dayanımı değeri elde edilmesini sağlamıştır.



Şekil 5. Kırmataşlı seri beton numunelerine ait basınç dayanımı değerleri



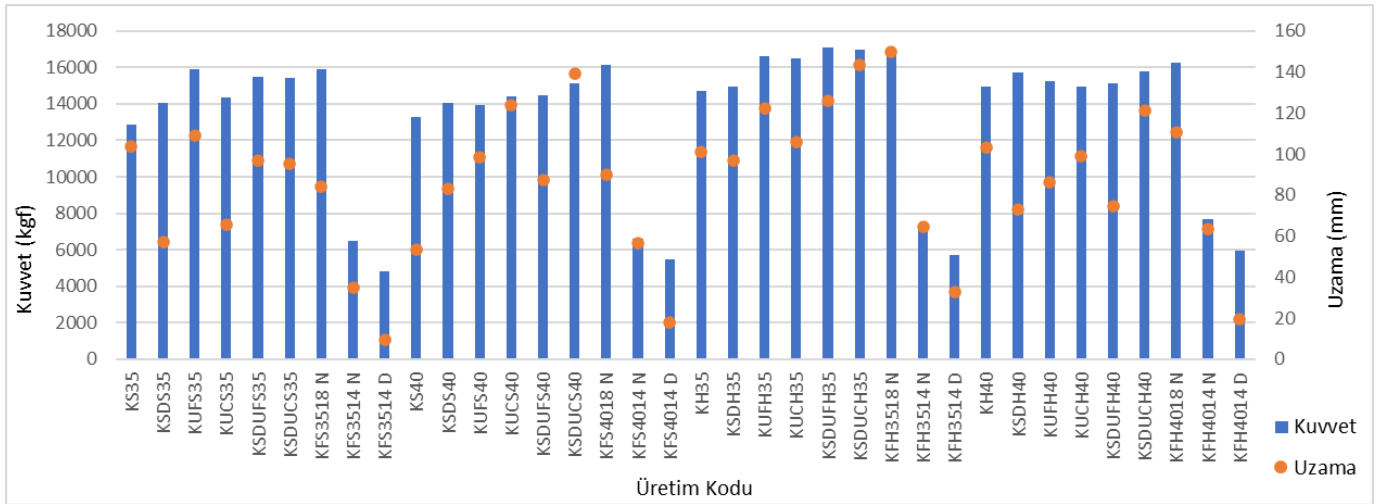
Şekil 6. Çakıllı seri beton numunelerine ait aderans kuvveti ve donatı uzama değerleri

Çakıllı seride en büyük aderans kuvveti CFH3518N betonundan (15297 kgf) ve uzama değeri (donatının beton içinden sıyrılması) ise CUCH40 (103.2 mm) betonunda en yüksek bulunmuştur. En küçük aderans kuvveti ve uzama değeri CFS3514D (3310 kgf ve 33.5 mm) betonundan elde edilmiştir. Çimento dozajı artışı aderans kuvveti değerlerine olumlu yansımıştır. Burada hiper akışkanlaştırıcı katkının süper akışkanlaştırıcı katkıya göre daha etkili olduğu görülmektedir. Hiper akışkanlaştırıcı katkının kullanıldığı serilerde genel olarak beton-donatı aderansı daha iyi olduğu için donatı sıyrılmadan önce daha fazla uzama yapabilmıştır. Özellikle 18 mm çapında nervürlü donatılarla üretilen betonlarda hem aderans kuvveti hem de donatı uzama miktarı değerleri yüksek çıkmıştır. Düz yüzeyli donatılarla üretilen betonlarda ise, donatı yüzey yapısının betonla aderans sağlayamaması nedeniyle en düşük sonuçlar elde edilmiştir. Mineral katkı kullanımı da genel olarak aderans kuvvetini artırıcı etki yaratmıştır.

Kırmataşlı beton serisinde en büyük aderans kuvveti KSDUHF35 betonundan (17102 kgf), en büyük uzama değeri KSDUCH35 (143.2 mm) betonundan ölçülmüştür. En düşük aderans kuvveti ve uzama değerleri KFS3514D (4833 kgf ve 9.5 mm) betonundan elde edilmiştir.

Kırmataşlı seri için de çakıllı seriye benzer şekilde hiper akışkanlaştırıcı katkının süper akışkanlaştırıcı katkıya göre daha etkili olduğu görülmektedir. Hiper akışkanlaştırıcı katkının kullanıldığı serilerde genel olarak beton-donatı aderansı daha iyi olduğu için donatı sıyrılmadan önce daha fazla uzama yapabilmıştır. Çakıllı seriye benzer şekilde kırmataşlı seride de 18 mm çapında nervürlü donatılarla üretilen betonlarda hem aderans kuvveti hem de donatı uzama miktarı değerleri daha yüksek çıkmıştır. Düz yüzeyli donatılarla üretilen betonlarda ise en düşük sonuçlar elde edilmiştir. Mineral katkı kullanımı burada da genel olarak aderans kuvvetini artırıcı etki yaratmıştır.

Basınç dayanımı sonuçlarına benzer şekilde beton içerisinde kırmataş agrega kullanımı aderans kuvvetini artırıcı etki yaratmıştır. Ayrıca donatıyla kenetlenme iyileşmiş ve buna bağlı olarak ortalama donatı uzama miktarları da kırmataşlı seride daha yüksek çıkmıştır.



Şekil 7. Kırmataşlı seri beton numunelerine ait aderans kuvveti ve donatı uzama değerleri

4. Sonuçlar

Beton katkılarının, çimento dozajının ve agrega tipinin; pull out deneyi için beton-donatı aderans kuvveti ve donatı uzaması değerlerine ayrıca beton basınç dayanımı sonuçlarına etkilerinin incelendiği bu deneysel çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Beton içerisinde kırmataş agrega kullanımı çakıl agrega kullanımına göre; betonun basınç dayanımı, aderans kuvveti ve donatı uzama değerlerini olumlu etkilemiştir.
- Mineral katkıların beton karışımında kullanılmasıyla beton basınç dayanımı değerleri yükselmiştir.
- Çimento dozajının artması her iki seride de basınç dayanımı açısından olumlu etki yaratmıştır. Ancak aderans kuvveti ve donatı uzama miktarı açısından çimento dozajı artışı sadece çakıllı seride olumlu sonuç vermiştir.
- Hiper akışkanlaştırıcı katkı kullanımı süper akışkanlaştırıcı katkıya göre sonuçlara daha olumlu yansımıştır.
- Silis dumanı, uçucu kül (C ve F tipi) mineral katkılı betonların basınç ve aderans dayanımı sonuçları şahit betonlara göre yüksek çıkmıştır. Fiber katkılı betonlarda da bahsedilen dayanım değerleri şahit betonlara göre yüksektir.
- Hem kırmataş hem de çakıllı seri için, basınç dayanımının artmasıyla birlikte aderans dayanımı da artış göstermiştir.
- Betonarme donatılarının nervürlü seçilmesi aderans kuvveti ve sıyrılma anına kadar ki donatı uzaması açısından olumlu sonuç vermiştir.
- Donatı çapının artması da aderans dayanımı ve donatı uzama değerlerini artırmıştır.

Teşekkür

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi 1621-YL-08 no'lu bilimsel araştırma projesi ve TÜBİTAK 106M155 - 104M568 no'lu projeler tarafından desteklenmiştir ve 'Katlılı Betonların Aderans Dayanımının İncelenmesi' başlıklı yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

Referanslar

- [1] Camacho, R. E. R., Afif, R. U. (2002). Importance of using the natural pozzolans on concrete durability. *Cement and Concrete Research*, 32, 1851-1858.
- [2] Pereira, P., Evengelista, L., Brito, J. D. (2012). The effect of superplasticisers on the workability and compressive strength of concrete made with fine recycled concrete aggregates. *Construction and Building Materials*, 28, 722-729. doi:10.1016/j.conbuildmat.2011.10.050
- [3] Abdalla, L. B., Ghafor, K., Mohammed, A. (2019). Testing and modeling the young age compressive strength for high workability concrete modified with PCE polymers. *Results in Materials*, 1. https://doi.org/10.1016/j.rinma.2019.100004

- [4] Reddy, P. V. R. K., Prasad, D. R. (2022). A study on workability, strength and microstructure characteristics of graphene oxide and fly ash based concrete. *Materialstoday: proceedings*, 62(6), 2919-2925. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.02.495>
- [5] Özel, C., "Katkılı Betonların Reolojik Özelliklerinin Taze Beton Deney Yöntemlerine Göre Belirlenmesi," Doktora Tezi, 249 s., Isparta, 2007.
- [6] Altun, F., Özcan, D. M., Vekli, M., Karahan, O. (2004). Çelik Lif Katkılı C 20 Betonun Mekanik Özelliklerinin Deneysel Araştırılması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 4(1), 31-40.
- [7] Türker, P., Erdoğan, B., Katnaş, F., Yeğınobalı, A. Türkiye'deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri. *Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği*, Ankara.
- [8] Chen, M., Shen, S. L., Arulrajah, A., Wu, H. N., Hou, D. W., Xu, Y. S., (2015). Laboratory evaluation on the effectiveness of polypropylene fibers on the strength of fiber-reinforced and cement-stabilized Shanghai soft clay. *Geotextiles and Geomembranes*, 43, 515-523. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geotexmem.2015.05.004>
- [9] Grierson, L., H., Knight, J. C., Maharaj, R., (2005). The role of calcium ions and lignosulphonate plasticiser in the hydration of cement. *Cement and Concrete Research*, 35, 631-636.
- [10] Papadakis, V. G., (1999). Experimental investigation and theoretical modeling of silica fume activity in concrete. *Cement and Concrete Research*, 29, 79-86.
- [11] Taşdemir, M. A., Bayramov, F. (2002). Yüksek performanslı çimento esaslı kompozitlerin mekanik davranışı. *itüdergisi/d mühendislik*, 1(2), 125-144.
- [12] Weyers, M., Kearsley, E. P., "Effect of High Plasticiser Dosage on Ultra High-Performance Fibre Reinforced Concrete (UHPFRC)," *International Conference on Application of Superabsorbent Polymers & Other New Admixtures Towards Smart Concrete*, 2020, s. 248-255.
- [13] Edmeades, R. M., Hewlett, P. C. (1975). Plasticising Admixtures in Corresponding Mixes, *Advances in Ready Mixed Concrete Technology*, 177-192.
- [14] Yücel, K. T., "Pompa Betonlarında İşlenebilirliğin Harç Fazının Reolojisine Dayanarak Belirlenmesi," Doktora Tezi, 122s., İstanbul, 1997.
- [15] Ramezanianpour, A. A., Esmaili, M., Ghahari, S. A., Najafi, M. H. (2013). Laboratory study on the effect of polypropylene fiber on durability, and physical and mechanical characteristic of concrete for application in sleepers. *Construction and Building Materials*, 44, 411-418. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.02.076>
- [16] Hawreen, A., Bogas, J. A. (2018). Influence of carbon nanotubes on steel-concrete bond strength. *Materials and Structures*, 51(155), 1-16. <https://doi.org/10.1617/s11527-018-1279-8>
- [17] Park, S. H., Kim, D. J., Ryu, G. S. Koh, K. T. (2012). Tensile behavior of Ultra High Performance Hybrid Fiber Reinforced Concrete. *Cement & Concrete Composites*, 34, 172-184. doi:10.1016/j.cemconcomp.2011.09.009
- [18] Konca, C., "Çimento Cinsi, Donatı Çapı ve Tipinin Beton-Donatı Aderansına Etkisi," Yüksek Lisans Tezi, 53s. İstanbul, 2006.
- [19] Döndüren, M. S., Çöğürçü, M. T., Altın, M. (2006). Betonla Donatı Arasındaki Aderans Davranışının Deneysel İncelenmesi. *S.Ü. Müh.-Mim. Fak. Derg.*, 21(3), 57-68.

Fall Detection Systems Supported by TinyML and Accelerometer Sensors: An Approach for Ensuring the Safety and Quality of Life of the Elderly

Yeliz Durgun¹

Tokat Gaziosmanpasa University, Turhal Vocational School, Tokat, TURKEY
ORCID ID: 0000-0003-3834-5533

Abstract

Many elderly individuals live alone in their homes, which can lead to significant health and safety concerns due to the risk of falls. Falls not only cause physical injuries but also have social, psychological, and economic impacts that negatively affect the quality of life for older adults. In this context, early detection of falls and implementation of preventive measures are of great importance. Edge computing-based fall detection systems have been developed to effectively address the safety of older adults in such situations. In the present study, a fall detection system is proposed that utilizes edge computing and TinyML technologies, operating on an embedded platform. This system is designed for the interpretation of accelerometer sensor data and processes the data collected through sensors to obtain valuable information. The Edge Impulse platform is used for training an extensive dataset consisting of various fall examples for older adults, allowing the proposed system to achieve a 98.5% recognition accuracy. This cost-effective and user-friendly novel approach combines a portable accelerometer sensor and artificial intelligence software to target early detection and prevention of falls in older adults. This study contributes significantly to the field of edge computing and provides effective solutions to enhance the quality of life for elderly individuals.

Keywords: “Micro learning, edge computing, cloud computing, elderly fall detection.”

1. Giriş

Yaşlı bireylerde düşme riski yaş ilerledikçe artmaktadır [1]. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) verilerine göre, 65 yaş ve üzeri kişilerin yaklaşık %28-35'i her yıl düşmektedir. Bu oran 70 yaş ve üzeri kişilerde %32-42'lere kadar yükselmektedir [2]. Bu artış, Yaşlı bireylerde düşme riskinin artması, vücutlarının kırılabilirlik düzeyinin yükselmesi ile ilişkilidir. Kırılabilirlik, yaşlı bireylerde çeşitli nedenlerden dolayı oluşan kemik ve kas zayıflığına bağlıdır [3]. Düşmeler, yaşlandıkça sıklıkla artmaktadır ve bu durum, yaşa bağlı biyolojik değişiklikler nedeniyle gerçekleşmektedir [4]. Özellikle yaşlı nüfusun artması nedeniyle, düşme olaylarının sıklığı ve düşmeye bağlı yaralanmaların sayısı da artmaktadır. Bu durum, 2030 yıllarına kadar düşmelerden kaynaklanan yaralanmaların %100 oranında artabileceği düşünülmektedir [5]. Bu nedenle, düşmelerin azaltılması veya hafifletilmesi için yardımcı cihazların oluşturulması, toplumsal bir zorunluluk haline gelmiştir. Çünkü düşmeler, büyük bir sağlık sorunu haline gelmiştir. Dolayısıyla, yeni yöntemler, araştırmalar ve düşme dedektörleri aktif olarak araştırılmaya başlanmıştır [6-7].

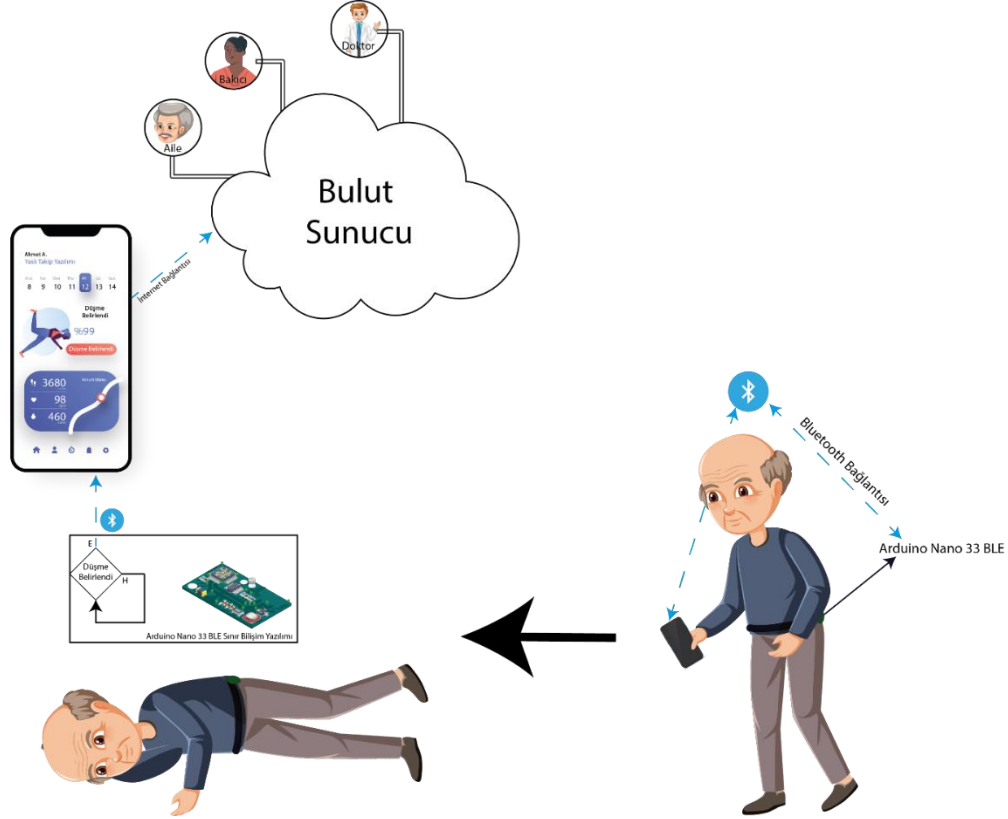
Bu çalışmalar sayesinde, yaşlıların düşmelerden korunması ve yaralanmaların azaltılması için daha etkili çözümler araştırılmaktadır. Yaşlılar için düşme bildiriminde kullanılan teknolojik yöntemler hala araştırılmaktadır. Sınır bilişim bu teknolojiler arasında yer almaktadır. Sınır bilişim, yaşlılar için düşme riskini azaltmak amacıyla birçok çalışma yürütmektedir. Örneğin, kullanıcının hareketlerini ve pozisyonunu izleyen sensörler kullanarak düşme riskini takip edebilmektedir [8-9]. Bu sensörler, kişinin yürüyüşünü ve dengesini analiz etmek için kullanılabilir ve düşme riski taşıdığı tespit edilirse, uyarılar gönderilebilmektedir [10]. Ayrıca, sınır bilişim aynı zamanda yapay zeka ve derin öğrenme teknolojilerini kullanarak düşme tahmini yapabilmektedir [11].

Örneğin, kameralar veya hareket sensörleri tarafından toplanan veriler kullanılarak bir kişinin düşme riski için bir model oluşturulabilmektedir [12]. Bu model, kişinin hareketleri ve pozisyonunu inceleyerek düşme riskini tahmin edebilir ve gerektiğinde uyarılar gönderebilir. Bu çalışma, Edge Impulse aracı, sınır bilişim alanında düşme tespiti ve tahmini için kullanılan bir araçtır. Bu araç, sensörler ve kameralar tarafından toplanan verileri kullanarak, yaşlı bireylerin düşme riskini değerlendirmeye yardımcı olmaktadır [13]. Edge Impulse, özellikle evde ve diğer yaşam alanlarında düşme riskini azaltmak için kullanılabilir. Ayrıca, bu teknoloji, yaşlıların yaşam kalitesini artırmak ve bağımsızlıklarını korumak için önemli bir katkı sağlamaktadır. Düşme tahmin ve tespit sistemleri, yaşlı bireylerin düşme riskini azaltmak ve hızlı müdahale imkanı sağlamak açısından büyük

¹ Corresponding Author
E-mail Address: yeliz.durgun@gop.edu.tr

öneme sahiptir. Bu sistemler, yaşlı bireylerin daha güvenli bir yaşam sürdürmelerine yardımcı olarak, yaralanma ve kırık riskini düşürür. Aynı zamanda, yaşlıların bağımsız yaşamlarını destekleyerek yaşam kalitelerini artırmaktadır.

Sonuç olarak, yaşlılar için düşme riskini azaltmak ve yaşam kalitelerini artırmak amacıyla sınır bilişim, yapay zeka ve derin öğrenme teknolojileri kullanılarak çalışmalar yapılmaktadır. Bu teknolojiler, düşme tespiti ve tahmini için kullanılan Edge Impulse gibi araçlarla yaşlı bireylerin hareketlerini ve pozisyonlarını izleyerek, düşme riskini değerlendirmeye yardımcı olmaktadır. Bu sayede, yaşlıların daha güvenli ve bağımsız bir yaşam sürdürebilmeleri için önemli katkılar sağlanmaktadır.



Şekil 1. Düşme Algılama Sistemi.

2. Veri Seti

Bu çalışmada, mevcut açık kaynak veri kümelerini referans olarak, yaşlı bireylerin bağımsız yaşamlarını desteklemeye yönelik daha kapsamlı ve güvenilir bir veri kümesi oluşturmayı amaçladık. MobiFall [16], tFall [17], DLR [18] ve Proje Yerçekimi [19] gibi mevcut veri kümelerinin yaşlı bireyleri içermemesi ve sınırlı aktivite çeşitliliği ve katılımcı sayısı sunması, bu çalışmanın önemini ve gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Denemelerimiz sırasında, önceki çalışmaların önerilerine dayanarak, kemer üzerine sabitlediğimiz bir mikrodenetleyici kullanarak veri toplama yöntemini benimsedik. Bu yöntem, giyilebilir cihazların daha doğal ve günlük yaşam aktivitelerine uyumlu bir şekilde kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Bu sayede, deneylerimizde elde ettiğimiz veriler, gerçek yaşam koşullarına daha yakın bir şekilde düşmeleri ve günlük yaşam aktivitelerini yansıtmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, daha geniş bir yaş aralığı ve daha fazla katılımcıyı içeren, hem düşme hem de ADL verilerini kapsayan bir veri kümesi elde edilmesi başarılıdır. Bu veri kümesi, akıllı telefonlarla sınırlı kalmadan, giyilebilir cihazlarla yapılan düşme ve ADL analizlerine önemli bir katkı sağlamaktadır. Sonuç olarak, bu çalışmanın, yaşlı bireylerin bağımsız yaşamlarını desteklemeye yönelik düşme ve ADL tespiti alanındaki bilimsel çalışmalara önemli bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

3. Yöntem

Mevcut teknolojik alanın temel unsuru haline gelen makine öğrenimi (ML) sınır bilişimle birleşerek bir çok yeni teknolojik çözüme ışık tutmaktadır. Sınır bilişimi ile birlikte makine öğrenmesinin bir arada kullanılması aşağıdaki faydaları sunabilir:

Gerçek zamanlı veri analizi: Sınır bilişimi gerçek zamanlı veri işleme ve analizini mümkün kılar, sonuçlarına dayanarak hemen aksiyon alınmasına olanak tanır.

Artan doğruluk: Makine öğrenme algoritmaları büyük miktarda veriyi analiz ederek kaynak kısıtlı sınır aygıtlarında bile yüksek doğrulukla tahmin yapabilmektedir.

Artan verimlilik: Sınır bilişimi merkezi sunuculara büyük veri miktarlarının aktarılmasına gerek kalmadığından, gecikmeleri azaltır ve sistem verimliliğini artırmaktadır.

Mali tasarruf: Merkezi veri işleme ve depolama maliyetleri ile verilerin aktarılması için gerekli bant genişliği miktarını azaltmaktadır.

Artan güvenlik: Sınır bilişimi hassas verileri sınır aygıtlarında tutarak veri sızıntıları riskini azaltır.

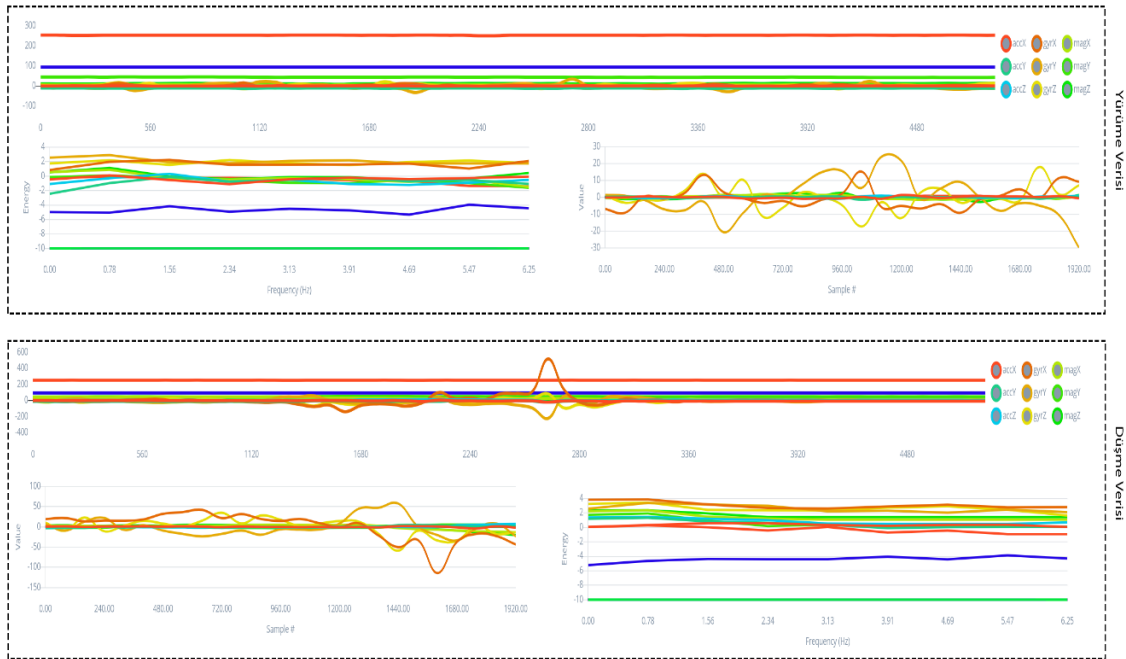
Artan ölçeklenebilirlik: Sınır bilişimi sistem talebine göre ölçeklenebilir, veri işleme ihtiyaçlarındaki değişikliklere uyum sağlamayı mümkün kılmaktadır.

Daha iyi kullanıcı deneyimi: Gerçek zamanlı veri analizi yaparak tahmin yapmak üzere makine öğrenme algoritmalarını kullanarak, kullanıcılara daha kişiselleştirilmiş ve sürekli bir deneyim sunmak mümkündür.

Projenin ana bileşenleri, Arduino Nano 33 BLE ve dahili LSM9DS1 modülüdür. Arduino Nano 33 BLE, küçük, güçlü ve düşük güçlü bir mikrodenetleyici karttır, LSM9DS1 modülü ise 3 eksenli ivmeölçer, 3 eksenli jiroskop ve 3 eksenli manyetometre içeren 9 eksenli hareket takip cihazıdır. Bu bileşenler birlikte, kaynak sınırlı uç cihazlarda bile makine öğrenme algoritmaları tarafından yapılan tahminlerin doğruluğunu artırarak, gerçek zamanlı veri analizi sağlamaktadır.

3.1. Arduino Nano 33 BLE:

Arduino Nano 33 BLE, Bluetooth Low Energy (BLE) özelliklerine sahip bir mikrodenetleyici platformdur. Bu platform, yaşlılar için düşme tespit sistemi oluşturmak için kullanılabilir. Arduino Nano 33 BLE, ev içinde yerleştirilmiş sensörler aracılığıyla yaşlının hareketlerini izleyebilmektedir. Örneğin, bir hareket sensörü ya da bir gyroskop, yaşlının pozisyonunu ve hareketlerini takip edebilmektedir. Bu sensörler, Arduino Nano 33 BLE'ye bağlanabilir ve verileri toplanabilmektedir. Arduino Nano 33 BLE, toplanan verileri işleyerek düşme olayını tespit edebilmektedir. Örneğin, hareket sensöründen toplanan veriler aracılığıyla yaşlının pozisyonunun ve hareketlerinin analiz edilmesi, düşme olasılığının tespit edilmesine yardımcı olabilmektedir. Arduino Nano 33 BLE ayrıca, düşme olayını tespit ettiğinde bir uyarı verebilmektedir. Örneğin, bir sesli uyarı veya bir mobil cihaza mesaj gönderebilmektedir. Ayrıca, düşme olayını tespit ettiğinde çağrı merkezine veya acil servislere otomatik olarak bağlanabilmektedir. Arduino Nano 33 BLE, maliyeti düşük ve kolayca kullanılabilen bir platformdur. Ancak, düşme tespit sisteminin etkili bir şekilde çalışması için doğru sensörlerin seçilmesi ve doğru veri işleme algoritmalarının kullanılması gerekir. Ayrıca, sistemin güvenliği ve gizliliği için gerekli önlemler alınması gerekir.



Şekil 2. Düşme ve Yürüme Durumlarına ait Sensör Verileri.

3.2. Yapay Sinir Ağı Modeli:

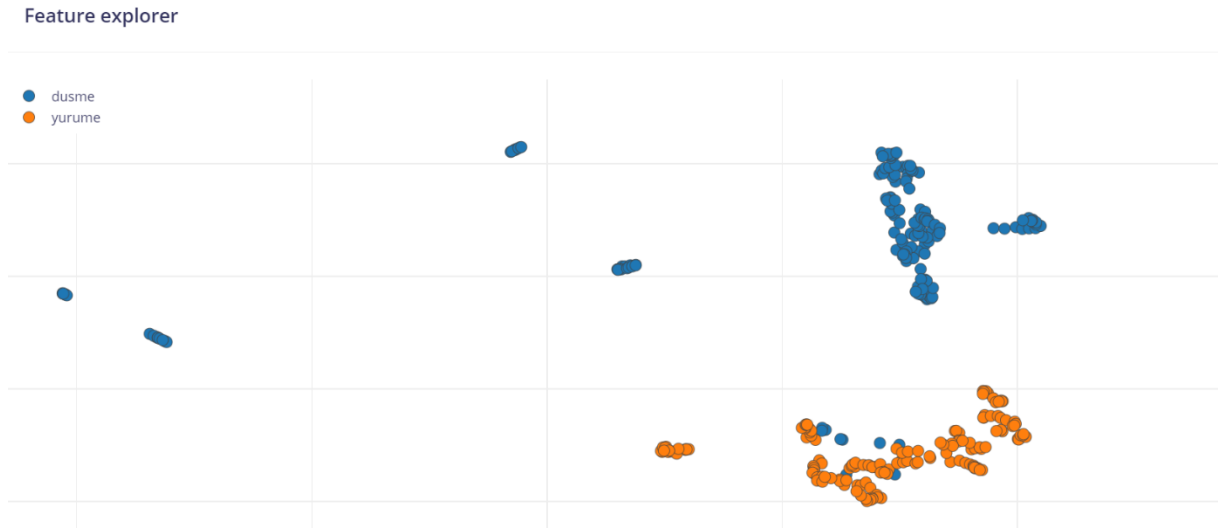
Bu çalışmada, yaşlılar için IoT tabanlı düşme algılama sistemini geliştirmek amacıyla, derin öğrenme tekniklerinden olan yapay sinir ağı (YSA) modeli kullanılmıştır. Yapay sinir ağları, insan beyninin işleyişini taklit etmeye çalışan ve genellikle sınıflandırma, regresyon ve örüntü tanıma gibi problemleri çözmek için kullanılan yapılardır.

Kullanılan YSA modeli, katmanlar ve nöronlar arasındaki bağlantıları temsil eden ağırlıklar ve biaslar ile karakterize edilmiştir. Bu çalışmada, bir giriş katmanı, birden fazla gizli katman ve bir çıkış katmanı içeren çok katmanlı bir yapı tercih edilmiştir. Giriş katmanı, sensörlerden elde edilen verileri işlemeye başlamak için kullanılırken, gizli katmanlar, daha karmaşık özellikleri öğrenmek ve çıktıya katkıda bulunmak için kullanılmaktadır. Çıkış katmanı ise, düşme durumunu tahmin etmek için kullanılmaktadır.

Modelin eğitimi, geri yayılım algoritması kullanılarak yapılmıştır. Geri yayılım algoritması, modelin ağırlıklarını ve biaslarını hedef değerlere ulaşmak için iteratif olarak güncelleyen bir süpervize öğrenme yöntemidir. Model eğitimi sırasında, veri kümesi eğitim ve test olarak iki bölüme ayrılmıştır. Eğitim veri kümesi, modelin ağırlıklarını ve biaslarını öğrenmesi için kullanılırken, test veri kümesi ise modelin performansını değerlendirmek için kullanılmıştır.

YSA modelinin başarısını ölçmek için, performans metrikleri olarak doğruluk (accuracy), duyarlılık (sensitivity) ve özgünlük (specificity) değerleri kullanılmıştır. Bu metrikler, modelin düşme ve düşme olmayan durumları doğru bir şekilde sınıflandırma yeteneğini değerlendirmek için kullanılmaktadır.

Özetle, bu çalışma, yaşlılar için IoT tabanlı düşme algılama sistemini geliştirmek amacıyla, derin öğrenme tekniklerinden olan yapay sinir ağı modelini kullanmıştır. Bu model, sensör verilerini kullanarak düşme durumunu tahmin etmek ve yaşlıların güvenliği ve yaşam kalitesini artırmak için etkili bir yöntem sunmaktadır.



Şekil 3. Matematiksel Sensörlere ait Öznitelik Grafiği

Bu çalışmada kullanılan yapay sinir ağı (YSA) modeli, sensör verilerinden düşme ve yürüme olaylarını tespit etmek için özellik çıkarımı ve sınıflandırma işlemlerini gerçekleştirmektedir. Modelin özellik keşfi süreci ve performansını gösteren Feature explorer grafiği, Şekil 3'te sunulmaktadır. Bu grafikte, düşme ve yürüme olaylarına ait özelliklerin nasıl ayrıştırıldığı ve sınıflandırıldığı açıkça görülmektedir.

3.3. TinyML ile Düşme Tespiti:

Bu çalışmada, yaşlılar için düşme tespitinde TinyML[20] kullanarak sensör verilerini işleyen bir yöntem geliştirilmiştir. İşlem adımları şu şekildedir:

Sensör Verisi Toplama: Mobil cihazın içerisine yerleştirilen bir ivmeölçer sensörü, kullanıcıların hareketlerini ve pozisyonunu sürekli olarak ölçmektedir. Bu sayede, yaşlı bireylerin evlerinde veya yaşadıkları ortamlarda bulunan sensörler, hareket ve pozisyon bilgilerini toplamaktadır.

Veri İşleme: Toplanan sensör verileri, TinyML algoritması tarafından işlenir. Bu algoritma, düşme olasılığını hesaplamak için kullanılmaktadır. Verilerin işlenmesi, daha düşük enerji tüketimi ve hızlı işlem süreleri sağlamaktadır.

Alarm Oluşturma: Eğer düşme olasılığı belirli bir eşik değerini aşarsa, cihaz bir alarm oluşturur. Bu alarm, kullanıcıya hareket etmelerini veya tehlikeli bir durumdan kaçınmalarını önlemektedir.

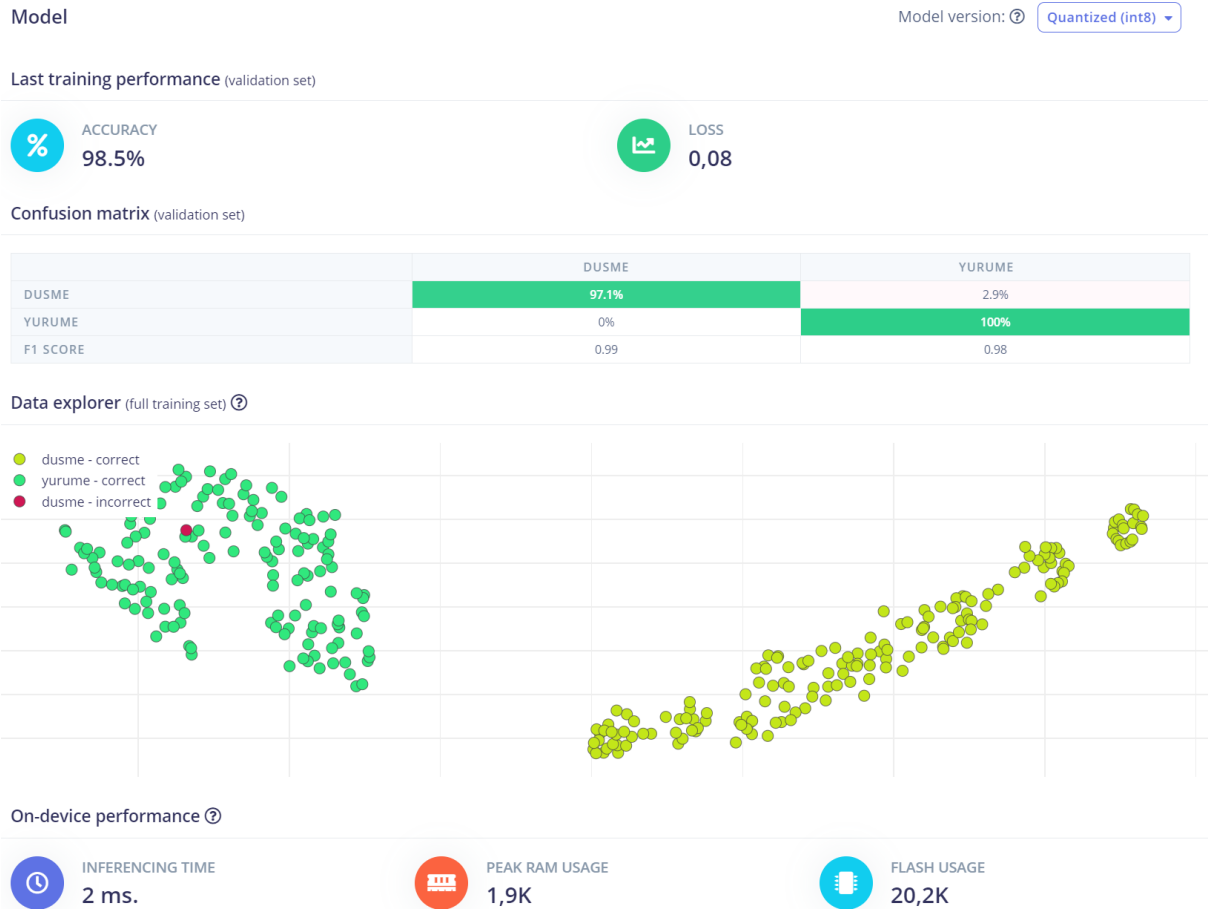
Sonuçları Raporlama: Kullanıcı, düşme tehlikesi olduğu anda uyarı alır ve bu durum cihaz tarafından kaydedilir. Düşme olasılığı ve alarm durumları, ileri analizler ve iyileştirme önerileri için raporlanmaktadır.

Bu yöntemle, TinyML kullanarak düşme tespiti yapılmakta ve yaşlı bireylerin güvenliği ve yaşam kalitesi artırılmaktadır. Özellikle enerji tüketimi ve işlem sürelerinde avantaj sağlayan bu yöntem, IoT tabanlı düşme algılama sistemlerinin etkinliğini ve kullanılabilirliğini artırmaktadır.

4. Bulgular

Düşme algılama sistemleri, zamanında tıbbi destek sayesinde ölüm oranlarında %80'e varan azalma sağlamıştır [21]. Bu nedenle, akıllı evler ve bakım merkezleri için yaşlı merkezli IoT tabanlı düşme algılama sistemi önemlidir. Sistem, kenar, sis ve bulut IoT katmanları aracılığıyla çalışmaktadır. Kenar katmanı, sensörler ve mikrodenetleyiciler aracılığıyla düşme olayını algılar ve verileri toplanmaktadır. Sis katmanı ise, verilerin işlenmesi ve analizi için kullanılmaktadır. Örneğin, TinyML algoritmaları kullanarak düşme olasılığının tespit edilmesi sağlanmaktadır. Bulut katmanı ise, verilerin depolanması ve paylaşılması için kullanılmaktadır. Ayrıca, uyarılar ve acil çağrılar yapılması için kullanılmaktadır. MSE, "Mean Squared Error" yani "Ortalama Kare Hatası"dır. MSE, bir modelin gerçek değerlerle tahmin edilen değerler arasındaki farkları ölçer ve bu farkları kareleri alarak ortalamasını alınmasını sağlamaktadır. MSE, bir regresyon modelinin performansını ölçmek için sıkça kullanılan bir metriktir ve düşük olması istenilmektedir. Çünkü bu, modelin daha doğru tahminler yaptığı anlamına gelmektedir.

Mevcut çalışmaların çoğu, düşme tespiti ve günlük yaşam aktivitelerinin sınıflandırılmasında sınırlı başarıya ulaşmıştır. Bu çalışmanın literatüre katkısı, geliştirilen modelin yüksek doğruluk oranı ve düşük MSE ile etkili bir şekilde düşmeleri tespit etmesi ve yaşlılar için güvenli ve hızlı müdahalelerin sağlanmasıdır. Şekil 4, uçta TinyModel'i barındıracak aygıtın teknik özelliklerini göstermektedir. Model test sonuçları, %98,5'lik iyi bir model performansı ve 0,08 'lik MSE göstermektedir.



Şekil 4. Denemelere ait Model Değerlendirmeleri

Bu çalışma, yaşlılar için düşme olaylarının zamanında algılanmasını ve iletilmesini sağlar, böylece acil tıbbi destek alınabildiği için hayat kurtarıcı olabilir. Aynı zamanda, sistem maliyeti düşük ve kolayca kullanılabilen bir yapıdadır. Şekil 4'teki sonuçlar, ekipmanımızdan alınan performans verilerinin çoğunun, ham verilerden elde edilen gerçek sınıfına girdiğini göstermektedir. Sınır Bilişimi ve TinyML teknolojileri kullanılarak yaşlılar için düşme tespiti yapmanın sağlayacağı faydalar şunlar olabilmektedir: Hızlı müdahale, Önleyici tedbirler, Artan güvenlik, Daha az yük ve Daha az maliyetlidir. Ancak, sistemin etkili bir şekilde çalışması için doğru sensörlerin seçilmesi, doğru veri işleme algoritmalarının kullanılması ve güvenliğin ve gizliliğin sağlanması gerekir. Bu çalışma, mevcut literatüre göre geliştirilmiş bir düşme algılama sistemi sunarak, yaşlılar için daha güvenli ve etkili bir çözüm sağlamaktadır.

Bu çalışmanın başarısı, kemer üzerine bağlanan mikrodenetleyici ile toplanan verilerin doğru bir şekilde değerlendirilmesine dayanmaktadır. Bu yaklaşım, önceki çalışmalardan farklı olarak, daha doğal ve rahat bir kullanım deneyimi sunmaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışma, yaşlılar için IoT tabanlı düşme algılama sistemlerinin etkisini artırmayı hedeflemekte ve mevcut literatüre önemli katkılar sağlamaktadır. Geliştirilen sistem, yaşlıların günlük yaşamlarında daha güvenli ve bağımsız hissetmelerine yardımcı olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu sayede, yaşlılar ve bakım sağlayıcılar için maliyet ve yük azaltılabilirken, yaşam kalitesi ve güvenlik artırılabilir.

Gelecekteki çalışmalar, daha büyük ölçekte deneyler ve farklı yaş gruplarından katılımcılarla sistemin performansının ve etkinliğinin daha kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi üzerine odaklanmalıdır. Ayrıca, sistemin güvenlik ve gizlilik konularında daha fazla iyileştirme sağlanması ve yeni teknolojilerin entegrasyonu ile daha etkili hale getirilmesi mümkündür. Bu sayede, düşme algılama sistemleri yaşlı nüfusun güvenliği ve yaşam kalitesi açısından daha büyük bir etkiye sahip olabilmektedir.

5. Sonuç

Bu çalışma, yaşlılar için IoT tabanlı düşme algılama sistemlerinin önemini ve etkisini vurgulamaktadır. Yaşlı nüfusun sürekli artması ve bağımsız yaşamak isteyen bireylerin sayısının yükselmesi, düşme algılama sistemlerinin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi için önemli bir motivasyon kaynağı olmaktadır. Çalışmanın amacı, yaşlıların günlük yaşamlarında güvenli ve bağımsız hissetmelerine yardımcı olacak IoT tabanlı düşme algılama sistemleri geliştirmek ve mevcut sistemlerin kısıtlamalarını aşarak daha etkili ve kullanıcı dostu bir çözüm sunmaktır.

Çalışmamızda, kenar, sis ve bulut IoT katmanları aracılığıyla çalışan bir düşme algılama sistemi sunulmuştur. Kenar katmanı, sensörler ve mikrodenetleyiciler aracılığıyla düşme olayını algılamak ve verileri toplamak için kullanılırken; sis katmanı, verilerin işlenmesi ve analizi için kullanılmaktadır. Özellikle, TinyML algoritmaları sayesinde düşme olasılığının tespit edilmesi sağlanmaktadır. Bulut katmanı ise, verilerin depolanması ve paylaşılması için kullanılmakta ve aynı zamanda uyarılar ve acil çağruların yapılması için de kullanılmaktadır.

Çalışmanın sonuçları, geliştirilen modelin %98,5'lük yüksek bir başarı oranı ve 0,08'lik düşük bir MSE değeri ile etkili bir düşme algılama performansı sunduğunu göstermektedir. Kemer üzerine bağlanan mikrodenetleyici ile verilerin toplanması ve değerlendirilmesi, önceki çalışmalardan farklı olarak, daha doğal ve rahat bir kullanım deneyimi sağlamaktadır.

Bu çalışma, mevcut literatüre önemli katkılar sağlamaktadır. Geliştirilen düşme algılama sistemi, yaşlılar için daha güvenli ve etkili bir çözüm sunarak, yaşam kalitesini ve güvenliğini artırmaktadır. Sistemin maliyeti düşük ve kullanımı kolaydır, bu sayede yaşlılar ve bakım sağlayıcılar için yük azaltılabilirken, yaşam kalitesi ve güvenlik artırılabilir.

Öte yandan, bu çalışma ile ortaya çıkan bulgular, düşme algılama sistemlerinin hızlı müdahale, önleyici tedbirler ve artan güvenlik sağlama gibi faydalarını vurgulamaktadır. Sistem, düşme olaylarının anında tespit edilmesini ve uyarı verilmesini sağlayarak, yaşlının durumunun hızlı bir şekilde kontrol edilmesi ve gerekli müdahalelerin yapılmasını mümkün kılmaktadır. Ayrıca, düşme olasılığını önceden tespit edebilme özelliği sayesinde, önleyici tedbirler alınarak yaşlıların güvenliği daha da artırılabilir. Ev içinde yerleştirilmiş sensörler, yaşlının hareketlerini izleyebilir ve düşme olasılığı olduğunda uyarı verebilir, böylece yaşlılar ve bakım sağlayıcılar için önemli bir güvenlik katmanı sunmaktadır.

Bu çalışma, sınır bilişim ve TinyML teknolojilerinin düşme tespiti ve yaşlı bakımında nasıl etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. Bu teknolojiler sayesinde, düşme algılama sistemleri daha düşük maliyetli hale getirilerek, daha fazla yaşlı bireyin ve bakım sağlayıcının erişimine sunulabilmektedir. Bu, yaşlılar için daha iyi bir yaşam kalitesi ve güvenlik sağlamanın yanı sıra, bakım sağlayıcılar için daha az yük ve maliyet anlamına gelmektedir.

Ancak, bu çalışmanın bazı sınırlılıkları da bulunmaktadır. Öncelikle, çalışma örnekleme daha geniş ve farklı yaş gruplarından katılımcıları içermelidir. Bu, düşme algılama sistemlerinin farklı yaş ve sağlık durumlarındaki bireyler üzerindeki etkisini daha iyi anlamamıza olanak sağlayacaktır. Ayrıca, sensörlerin doğru şekilde seçilmesi ve veri işleme algoritmalarının optimize edilmesi önemlidir. Bu sayede, sistemin algılama performansı ve güvenilirliği daha da artırılabilir.

Sonuç olarak, bu çalışma yaşlılar için IoT tabanlı düşme algılama sistemlerinin önemini ve faydalarını ortaya koymaktadır. Geliştirilen sistem, yaşlıların günlük yaşamlarında güvenli ve bağımsız hissetmelerine yardımcı olacak etkili ve kullanıcı dostu bir çözüm sunmaktadır. Sistemin başarısı, sınır bilişim ve TinyML teknolojilerinin yaşlı bakımında ve düşme tespitinde nasıl kullanılacağına dair önemli bilgiler sunmaktadır. Gelecek çalışmalar, bu teknolojilerin daha geniş kapsamlı uygulamalarını ve düşme algılama sistemlerinin daha da geliştirilmesini araştırarak, yaşlılar ve bakım sağlayıcılar için daha iyi bir yaşam kalitesi ve güvenlik sağlamaya katkıda bulunabilmektedir.

Referanslar

- [1] Cyrus Cooper et al. “Frailty and sarcopenia: definitions and outcome parameters”. *Osteoporosis International* 23 (2012), pp. 1839–1848.
- [2] Yueng Santiago Delahoz and Miguel Angel Labrador. “Survey on fall detection and fall prevention using wearable and external sensors”. *Sensors* 14(10) (2014), pp. 19806–19842.
- [3] Ozge Dokuzlar et al. “Factors that increase risk of falling in older men according to four different clinical methods”. *Experimental aging research* 46(1) (2020), pp. 83–92.
- [4] Glenn Forbes, Stewart Massie, and Susan Craw. “Fall prediction using behavioural modelling from sensor data in smart homes”. *Artificial Intelligence Review* 53(2) (2020), pp. 1071–1091.
- [5] Debra Houry et al. “The CDC Injury Center’s response to the growing public health problem of falls among older adults”. *American journal of lifestyle medicine* 10(1) (2016), pp. 74–77.
- [6] Weidong Min et al. “Human fall detection based on motion tracking and shape aspect ratio”. *Int. J. Multimedia Ubiquitous Eng.* 11(10) (2016), pp. 1–14.
- [7] World Health Organization, World Health Organization. Ageing, and Life Course Unit. WHO global report on falls prevention in older age. World Health Organization, 2008.
- [8] Anita Ramachandran and Anupama Karuppiyah. “A survey on recent advances in wearable fall detection systems”. *BioMed research international* 2020 (2020).
- [9] Ramon Sanchez-Iborra and Antonio F Skarmeta. “Tinyml-enabled frugal smart objects: Challenges and opportunities”. *IEEE Circuits and Systems Magazine* 20(3) (2020), pp. 4–18.
- [10] Mahadev Satyanarayanan. “The emergence of edge computing”. *Computer* 50(1) (2017), pp. 30–39.
- [11] Ygor Rebouças Serpa et al. “Evaluating pose estimation as a solution to the fall detection problem”. In: 2020 IEEE 8th International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH). 2020, pp. 1–7.
- [12] Andrew Sixsmith and Neil Johnson. “A smart sensor to detect the falls of the elderly”. *IEEE Pervasive computing* 3(2) (2004), pp. 42–47.
- [13] Frank Sposaro and Gary Tyson. “iFall: an Android application for fall monitoring and response”. In: 2009 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. 2009, pp. 6119–6122.
- [14] George E Stelmach and Charles J Worringham. “Sensorimotor deficits related to postural stability: implications for falling in the elderly”. *Clinics in geriatric medicine* 1(3) (1985), pp. 679–694.
- [15] Erik E Stone and Marjorie Skubic. “Unobtrusive, continuous, in-home gait measurement using the Microsoft Kinect”. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 60(10) (2013), pp. 2925–2932.
- [16] Vavoulas George et al. The MobiFall Dataset: Fall Detection and Classification with a Smartphone. *Int. J. Monit. Surveill. Technol. Res.* 2014;2:44–56. doi: 10.4018/ijmstr.2014010103.
- [17] Medrano Carlos et al. Detecting Falls as Novelities in Acceleration Patterns Acquired with Smartphones. *PLoS ONE.* 2014;9:e94811. doi: 10.1371/journal.pone.0094811.
- [18] Frank Korbiniyan et al. Bayesian Recognition of Motion Related Activities with Inertial Sensors; Proceedings of the 12th ACM International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp); Copenhagen, Denmark. 26–29 September 2010; pp. 445–446.
- [19] Vilarinho Thomas et al. A combined smartphone and smartwatch fall detection system; Proceedings of the IEEE International Conference on Computer and Information Technology; Ubiquitous Computing and Communications; Dependable, Autonomic and Secure Computing; Pervasive Intelligence and Computing; Liverpool, UK. 26–28 October 2015.
- [20] Warden, Pete, and Daniel Situnayake. *Tinyml: Machine learning with tensorflow lite on arduino and ultra-low-power microcontrollers.* O’Reilly Media, 2019.
- [21] A. Tahir et al. “Hardware/Software Co-Design of Fractal Features Based Fall Detection System,” *Sensors*, vol. 20, no. 8, p. 2322, Apr. 2020, doi: 10.3390/s20082322.

Determination of High Risks and Elimination of Possible Risks in the Winding Section of an Energy Company Using the Fine-Kinney Method

Kübra Tümay Ateş^{a,1}

^a Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 01330, Adana, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-3337-7969

Abstract

In our country, risk assessment and risk analysis have been made mandatory in the workplaces by the relevant regulations of the Law No. 6331. However, despite this, potential hazards cannot be avoided both in industry and workplaces. Predicting what kind of dangers employers and employees may be exposed to in industrial companies is one of the important difficulties encountered. For this reason, it is one of the most important procedures to make a correct risk assessment and to identify, prevent and control Occupational Health and Safety (OHS) risks. One of the many techniques used for OHS risk assessment is the Fine-Kinney model. Most Fine-Kinney-based risk assessment approaches can take into account the relative importance of risk parameters. An improved Fine-Kinney occupational risk assessment approach is proposed in the study. In order to demonstrate the feasibility of the proposed approach, risk values and risk avoidance values have been systematically calculated in all parts of a power plant. A case study was conducted on the bobbin winding unit (Coiling), hazards were identified and measures were presented to eliminate and/or minimize the risk according to the results of the risk analysis.

Keywords: “Fine-Kinney method, risk assessment, new measures.”

1. Giriş

Geçmişten günümüze gelen, teknolojinin gelişmesiyle gelişen, üretimdeki verimliliği artıran, endüstriyel üretim faaliyetlerinde kullanılan araç ve gereçler birçok fayda sağlamasının yanı sıra iş kazalarının kaçınılmaz bir unsuru olabilmektedir [1]. Özellikle sanayi sektöründe yer alan fabrikalarda yaşanabilecek kazaların şiddeti ve katlanılması gereken sonuçları daha ağır olabilmektedir. Gerek çalışan için gerekse işveren için katlanılması güç maddi ve manevi değerler ortaya çıkabilmektedir. Bu sebeplerden dolayı halihazırda bulunan ve uygulanması zorunlu olan 6331 sayılı kanun gereğince, iş yerlerinde risk değerlendirmesi yapılması zorunlu kılınmıştır. Alınan tüm önlemlere rağmen sanayi tipi kuruluşlarda yaşanabilecek görünmez kazaların önüne geçmek ancak potansiyel tehlikelerin ortaya çıkarılması ile mümkündür. Bu potansiyel tehlikelerin belirlenmesi ve/veya İSG risklerinin risk değerlendirmesinin doğru bir şekilde yapılabilmesi amacıyla etkili bir dizi önlem alınabilmesi için birçok yöntem kullanılmaktadır. Mesleki riskleri değerlendirme yöntemleri iki gruba ayrılmaktadır [2,3] Halihazırda, işgücü koruma alanındaki mesleki riskleri değerlendirmek için çeşitli nicel ve nitel yöntemler kullanılmaktadır:

Niteliksel risk değerlendirme yöntemleri arasında kontrol listeleri, “eğer öyleyse” analizleri [4] güvenlik denetimleri, görev analizleri, sıralı zamanlanmış olay çizimi (STEP) tekniği ve tehlike ve işlerlik çalışması (HAZOP) bulunur [5,6]. Nicel risk değerlendirme yöntemleri arasında orantılı risk değerlendirme (PRAT) tekniği (FMEA, Fine Kinney), karar matrisi risk değerlendirme (DMRA) tekniği ve ağırlıklı risk analizi (WRA) bulunur [7-9]. Hibrit teknikler arasında insan hata analizi teknikleri, hata ağacı analizi, olay ağacı analizi vb. [10-12] Bu risk analiz araçları arasında, Fine-Kinney modeli, potansiyel tehlikelerin risk değerlendirme problemlerini ele almak için geniş çapta benimsenmiştir [13-15]. Fine-Kinney modeli, çeşitli alanlardaki risk tanımlama ve değerlendirme sorunlarının çözümünde yararlı bir araç olarak kabul edilen, en yaygın şekilde benimsenen klasik mesleki risk analizi tekniklerinden biridir.

İşletmelerin ve şehirlerin elektrik ağları ve trafo merkezleri için en karmaşık ekipman türü güç transformatörleridir. Belirtildiği gibi, sargılar (bobin sarma bölümü) güç transformatörünün en savunmasız kısmıdır, izolasyonlarının hasar görmesi kısa devre riski oluşturur. Nem (onarım sonrası sargıların yetersiz kurutulması, transformatör yağının nemlendirilmesi) gibi yabancı yabancı maddelerin varlığı nedeniyle güç transformatöründe meydana gelen kimyasal işlemler, yalıtımın elektriksel gücünü önemli ölçüde azaltabilmektedir. Bu noktada olası risklerin belirlenmesi ve elimine edilmesi önemlidir.

¹ Corresponding Author
E-mail Address: ktumay@cu.edu.tr

İlk risk değerlendirmesi, özellikle risk puanı sistemi kullanıldığında, risklerin ve değerlendirilmenin kapsamının belirlenmesinden sonra gelen risk değerlendirme sürecinin ana adımudur. Bir risk puanı (RS), Fine-Kinney'in standart versiyonu kullanılarak olasılık (P), maruz kalma (E) ve sonuç (C) parametrelerinin matematiksel olarak çarpılmasıyla tanımlanır.

2. Önceki Çalışmalar

Literatüre bakıldığında risk analiz metodlarının sıklıkla ve bir çok farklı alanda çalışıldığı görülmektedir. Şengöz ve Merdan [16] iş yerlerinde elektriğin neden olduğu yangınları belirleyebilmek amacıyla Fine-Kinney risk analizi metodunu kullanmış ve yeni bir yaklaşım önermişlerdir. Kokangül vd., [17] AHP ve Fine Kinney metodolojilerini kullanarak risk değerlendirmesi için yeni bir yaklaşım önererek bir imalat firması için risk analizlerinin yapılabileceğini tespit etmişlerdir.

Wang vd., [17] çalışmalarında mevcut Fine-Kinney tabanlı risk değerlendirme yaklaşımı ve üçgen bulanık sayıları kullanarak risk analizi yapmış, ayrıca MULTIMOORA yöntemi ve Choquet integralini birleştiren yeni bir Fine-Kinney tabanlı risk değerlendirme yaklaşımı önermiştir. Gül ve Çelik [13] raylı ulaşım sistemlerinin risk analizi için bulanık kural tabanlı Fine-Kinney risk değerlendirme yaklaşımı önermişlerdir. Bu yaklaşım, Fine-Kinney yöntemi ile bulanık kural tabanlı sistemin bir kombinasyonunu içermektedir. Eleren ve Ersoy [18] bir mermer ocağında blok kazı işlemi esnasında oluşabilecek olası kazaları ve etkilerini tespit edebilmek amacıyla Fine-Kinney-GRA risk analiz yöntemlerini birlikte kullanmışlardır. Aker [19] Fine-Kinney yöntemi ve 5x5 Matris yöntemini metal sektöründe uygulayarak risk değerlendirme çalışması yapmışlardır. Sonuçlar iki farklı yöntem ile kıyaslanarak Fine-Kinney yönteminin risk değerlendirme unsurlarını değerlendirmede daha hassas bir yöntem olduğu ortaya çıkarılmıştır. Tang vd., [20] Fine-Kinney metodunu kullanarak balast tankı bakımına ilişkin bir risk analizi vaka çalışması yapmış ve duyarlılık karşılaştırma analizi uygulamışlardır. Duyarlılık analizi ve karşılaştırmaları, yeni risk önceliklendirme modelinin güvenilirliğini doğrulamak için kullanmışlardır. Kuleshov vd., [21] mesleki risk bileşenlerinden biri olarak bir kazanın sonuçlarının ciddiyetinin değerlendirilmesini Fine- Kenny yöntemi ile açıklamıştır. Çalışmada incelenen kurumdaki kaza, olayların son analizi yapılarak işletmenin toplam zararı hesaplanmıştır. Milli vd., [22] Bolu'da deri işleme sektöründe faaliyet gösteren orta ölçekli bir firmada risk analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışma bir imalat firmasının alt süreçlerinde Fine-Kinney risk analizi yöntemi uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma ve yüksek riskli faaliyetler ilk etapta ele alındıktan sonra risk puanı çok yüksek olan faaliyetler belirlenerek önlemler sunulmuştur. Bepary ve Kabir [23], rüzgar türbinlerinin taşınması, inşası, işletilmesi ve bakımı için bir risk değerlendirme yöntemi uygulamıştır. Fine-Kinney yöntemi ile değerlendirilen risk parametrelerinin ağırlıklarını belirlemek için ise çok kriterli karar tekniği olan bulanık analitik hiyerarşi süreci (BAHP) kullanılmıştır. Derse [24], yapmış olduğu çalışmada doğal afetler için risk değerlendirmesi yapmış Fine-Kinney metodu ile hibrit bir yaklaşım modeli oluşturarak olası risk değerlendirme çalışması yapmıştır.

Literatür çalışmaları incelendiğinde Fine-Kinney metodunun her alanda risk değerlendirmesi yapılabilmesi için hassas ve aktif bir rol oynadığı görülmektedir. Bu çalışmada, bu sebeplerden dolayı seçilen bu yöntem, enerji sektöründe aktif bir vaka çalışması olarak uygulanmıştır. Bu tarz firmalar için önemli tehlikelerin belirlenebilmesi çok ciddi iş kazalarının önüne geçebilmeyi sağlayabilmektedir. Firmada aktif rol oynayan iş sağlığı ve güvenliği uzmanının görüşleri ve taranan literatürün harmanlanması ile tehlikeler belirlenmiştir. Olası tehlikelerin belirlenmesinin ardından hesaplanan risk sonucuna göre önlemler önerilmiş ve riskin en aza indirgenmesi ve/veya kaynağından yok edilmesi amaçlanmıştır. Önleyici güvenlik önlemlerine yapılan vurgu, bunların çalışanların refahını koruma ve operasyonlarının verimliliğini artırmadaki önemini ortaya koymaktadır.

3. Materyal ve Metot

Fine Kinney Metodu, 1976'da Kinney ve Wiruth tarafından geliştirilen nicel bir risk değerlendirme yöntemidir [25,17]. Bu yaklaşım, tehlikeli olayın olasılığı (O), tehlikeye maruz kalma faktörü (F) ve olası sonuçlar (Ş) olmak üzere üç risk parametresinden oluşarak tehlikenin risk derecesini belirlemektedir. Mesleki riskin nihai değeri, elde edilen değişkenlerin çarpımı ile elde edilir (Denklem 1) [16].

$$R(Risk) = O(Olasılık) * Ş(Şiddet) * F(Frekans) \quad (1)$$

Ardından durumun kabul edilebilir olup olmadığı değerlendirilir. Fine-Kinney yönteminde, Olasılık, zaman içinde meydana gelen hasarın olasılığı iken, Maruziyet faktörü, tehlikeye maruz kalma sıklığını ifade eder. Olası sonuçlar, bir tehlike meydana geldiğinde insanlara, işyerine ve çevreye verilen zarar veya hasarın miktarıdır [1].

Yukarıda açıklanan parametrelerin matematiksel karşılıkları (Dereceleri) Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3'de ayrıntılı olarak verilmiştir [25].

Tablo 1. Tehlikeli olayın olasılık değerleri

| OLASILIK | |
|----------|-------------------------------|
| Derece | Zararın Gerçekleşme Olasılığı |
| 10 | Beklenir, kesin |
| 6 | Yüksek, oldukça mümkün |
| 3 | Olası |
| 1 | Mümkün fakat düşük |
| 0.5 | Beklenmez fakat mümkün |
| 0.2 | Beklenmez |

Tablo 2. Maruz kalma faktörü değerleri

| Frekans | |
|---------|--|
| Derece | Tehlikeye Zaman İçinde Maruz Kalma Tekrarı |
| 10 | Hemen Hemen Sürekli (Bir Saatte Birkaç Defa) |
| 6 | Sık (Günde Bir Veya Birkaç Defa) |
| 3 | Ara Sıra (Haftada Bir Veya Birkaç Defa) |
| 2 | Sık Değil (Ayda Bir Veya Birkaç Defa) |
| 1 | Seyrek (Yılda Birkaç Defa) |
| 0.5 | Çok Seyrek (Yılda Bir Veya Daha Seyrek) |

Tablo 3. Olası sonuçlar için değerler

| Şiddet | |
|--------|--|
| Derece | İnsan / Çevre Üzerinde Yaratacağı Tahimini Zarar |
| 100 | Birden fazla ölümlü kaza/Çevresel felaket |
| 40 | Öldürücü kaza / ciddi çevresel zarar |
| 15 | Kalıcı hasar/yaralanma, iş kaybı |
| 7 | Önemli hasar/yaralanma, dış ilk yardım ihtiyacı |
| 3 | Küçük hasar/yaralanma, dahili ilk yardım |
| 1 | Ucuz atlama / çevresel zarar yok |

Tablo 4. Risk puanı tanımları

| Risk Değerlendirme Sonucu | | |
|---------------------------|---------------------|---|
| Risk Değeri | Risk Öncelik Sırası | Riskin Tanımı |
| $R \geq 400$ | 1 | Tolerans Gösterilemez (Çok Yüksek Risk) (Hemen Gerekli Önlemler Alınmalı/Veya İşin Durdurulması, Tesisin, Binanın Kapatılması Vb. Düşünülmelidir) |
| $400 > R \geq 200$ | 2 | Esaslı (Yüksek Risk) (Kısa Dönemde İyileştirilmelidir “Birkaç Ay İçerisinde”) |
| $200 > R \geq 70$ | 3 | Önemli Risk (Uzun Dönemde İyileştirilmelidir “Yıl İçerisinde”) |
| $70 > R \geq 20$ | 4 | Olası Risk (Gözetim Altında Uygulanmalıdır) |
| $20 > R$ | 5 | Önemsiz Risk (Önlem Öcelikli Değildir) |

4. Bulgular ve Tartışma

Risk değerlendirme sürecindeki en kritik adım, risk puanlama sisteminin belirlenmesidir. Önleyici tedbirler alınmadan önce tehlikelerin önceliklendirilmesi yapılmalıdır, bu nedenle daha fazla hassasiyet sağlayan ve klasik yöntemlerin eksikliklerini kapatan güncel bir metodolojiyi takip gerekmektedir. Fine-Kinney yöntemi, tehlikelerin nicel olarak değerlendirilmesi için kullanılan hassas bir yöntemdir. Bu sebeple risk değerlendirmesi uygulamalarında başlıca kullanılan metotlar arasındadır.

Bir kaza sonucunun önemini değerlendirilmesi, bir işletmedeki toplam mesleki riskin hesaplanmasında ana unsurlardan biridir. Bir kazanın maddi ve manevi kayıplarının sonuçlarını önceden tahmin edebilmek ve önleyebilmek için yapılan bu çalışmada, tehlikelerin neden olabileceği risklerin ciddi sonuçlar yaratabileceği bir analiz için enerji firması tercih edilmiştir. Tercih edilen enerji fabrikasının yüksek risk etmenlerini bulundurabileceği bir bölüm olan bobin sarma ünitesinin (bobinaj) risk

analizi yapılmıştır. Analiz yapılırken, mevcut durum göze alınarak, analiz edilen bölüm, bölümde yapılan faaliyet, bölümdeki durumun tehlikesi, tehlikeden etkilenen olmak üzere 5 başlık altında inceleme gerçekleştirilmiştir. Çalışmada özellikle risk değeri (R), $R \geq 400$ olan riskler irdelenmiştir alınabilecek önlemler İSG uzmanı, sahada yapılan incelemeler, ve bölüm çalışanları (mesleki tecrübesi 8 yıl olan bölüm şefi) ile tartışılmıştır. ile tartışılmıştır. Yapılan değerlendirmeler, risk dereceleri ve risk tanımları Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 5. Mevcut Durum için Alınan Önlemler ve Risk Değerlendirmeleri

| Bölüm | Faaliyet | Tehlike | Etkilenen | Risk | Mevcut Durum | Mevcut Durumu Göre Riskin Değerlendirilmesi | | | Risk Önceliklik Sırası | Riskin Tanımı | |
|--------------|---|---|---|---|--|---|-----|-----|------------------------|---------------|-----------------|
| | | | | | | O | F | Ş | | | |
| Bobinaj (1) | Acil Durumlarda kaçış | Acil Çıkış kapısı olmaması | Çalışanlar/Ziyaretçiler/ Taşeron firma personeli/Tedarikçiler | Yaralanma/ Ölüm | Bölüm için Acil Çıkış kapısı yapılmış ve ışıklı uyarı levhası asılmıştır. Acil durumlarda 60 DK aydınlatma sağlayan ışıkdaklar bölüm içerisinde aralıklı olarak bulunmaktadır | 1 | 0.5 | 100 | 50 | 4 | Olası Risk |
| Bobinaj (2) | Acil Durum Alarm sistemi | Yangın Alarm butonlarının olmaması | Çalışanlar/Ziyaretçiler/ Taşeron firma personeli/Tedarikçiler | Yaralanma/ Ölüm | Yangın alarm butonları mevcut değildir. | 3 | 6 | 100 | 1800 | 1 | Çok Yüksek Risk |
| Bobinaj (3) | Yangına Müdahale | Yangın Söndürme Dolaplarına ve Yangın Söndürücü Tüplere Ulaşamama | Çalışanlar/Ziyaretçiler/ Taşeron firma personeli/Tedarikçiler | Yaralanma/ Ölüm | Yangın Söndürme Dolaplarının önleri kapalıdır. Yangın Söndürücü Tüpler asılmamıştır. | 3 | 6 | 100 | 1800 | 1 | Çok Yüksek Risk |
| Bobinaj (4) | Raflar | Devrilme | Çalışanlar/Ziyaretçiler/ Taşeron firma personeli/Tedarikçiler | Yaralanma, Ağır yaralanma | Raflar duvara sabitlenmemiştir. | 3 | 6 | 40 | 720 | 1 | Çok Yüksek Risk |
| Bobinaj (5) | Raflardan Malzeme alımı-Raflara malzeme istifi | Malzeme düşmesi | Çalışanlar | Malzeme düşmesi sonucu yaralanma/ Ağır yaralanma | Bobin sarımında kullanılan kenar şeritler ve diğer malzemeler sabit olmayan şekilde üst raflarda istiflenmektedir | 3 | 6 | 15 | 270 | 2 | Yüksek Risk |
| Bobinaj (6) | Raflardan Malzeme alımı-Raflara malzeme istifi | Merdiven ile malzeme alımı | Çalışanlar | Yüksekten düşme sonucu yaralanma/ağır yaralanma | Raflara malzeme istifi veya malzeme alımı uygunsuz merdiven ile yapılmakta ve üst raflara çıkılmakta. | 3 | 6 | 15 | 270 | 2 | Yüksek Risk |
| Bobinaj (7) | Yüksek Gerilim Bobin sarım | Makinenin Dönen Aksamı | Çalışanlar/Ziyaretçiler/ Taşeron firma personeli/Tedarikçiler | Makine döner aksamına kıyafet takılması sonucu Yaralanma/Ağır Yaralanma/ Ölüm | Makinenin kumandasında ve çeşitli kısımlarında ACİL STOP düğmesi bulunmaktadır. Bobin sarım esnasında uzuv girmemesi için koruyucu sensör bulunmamaktadır. | 3 | 10 | 40 | 1200 | 1 | Çok Yüksek Risk |
| Bobinaj (8) | Yüksek Gerilim Bobin sarım | Alüminyum veya bakır tel sarımı | Operatörler | Tel ile bobin arasına uzuv sıkışması sonucu Yaralanma | Bobin sarımı esnasında gergi ayarı yapmak için makine yavaş devirde iken teller tutularak sarım işlemi yapılmaktadır. | 3 | 6 | 15 | 270 | 2 | Yüksek Risk |
| Bobinaj (9) | Yüksek Gerilim Bobin Makineleri Üzerine çıkılması | Düme | Operatörler, Bölüm Sorumlusu | Yaralanma/Ağır yaralanma | Makine üzerine çıkıp çalışma yapılmaktadır. | 3 | 2 | 15 | 90 | 3 | Önemli Risk |
| Bobinaj (10) | Tel kaynağı | YG alüminyum veya bakır tellerin kaynak ile birleştirilmesi | Operatörler, Bölüm Sorumlusu | Göze çapak sıçraması sonucu yaralanma | Biten tel ile yeni telin kaynak ile birleştirilmesi sırasında kaynak yapan operatör ile telleri tutan operatör koruyucu gözlük kullanmamaktadır. | 3 | 6 | 7 | 126 | 3 | Önemli Risk |
| Bobinaj (11) | Tel kaynağı | Yanma | Operatörler, Bölüm Sorumlusu | El ve Kollarda yanma | Biten tel ile yeni telin kaynak ile birleştirilmesi sırasında yardım alınan operatör telleri uç uca getirerek tutmaktadır. | 3 | 6 | 15 | 270 | 2 | Yüksek Risk |
| Bobinaj (12) | Yüksek Gerilim Bobin sarım | Tel kopması | Operatörler, Bölüm Sorumlusu | Göz, yüz bölgesi yaralanmaları | Bobine tel sarım esnasında operatörleri yüz bölgesi koruyucusu bulunmamakta ve operatörler koruyucu gözlük kullanmamaktadır. | 1 | 10 | 15 | 150 | 3 | Önemli Risk |
| Bobinaj (13) | Makine Elektrik kabloları | Elektrik kablolarının koruyucu içerisinde bulunmaması | Çalışanlar/Ziyaretçiler/ Taşeron firma personeli/Tedarikçiler | Elektrik çarpması sonucu yaralanma, ölüm | Yüksek gerilim makinelerine gelen elektrik kabloları koruyucu spiral içerisinden geçirilmemiştir. Alçak gerilim makineleri elektrik kabloları kablo kanallarında ezilmeler vardır. | 3 | 6 | 40 | 720 | 1 | Çok Yüksek Risk |

Tablo 5. Mevcut Durum için Alınan Önlemler ve Risk Değerlendirmeleri (devamı)

| Bölüm | Faaliyet | Tehlike | Etkilenen | Risk | Mevcut Durum | Mevcut Durumu Göre Riskin Değerlendirilmesi | | | Risk Önceliklik Sırası | Riskin Tanımı | |
|--|--|---|---|---|---|---|-----|-----|------------------------|---------------|-----------------|
| | | | | | | O | F | S | | | |
| Bobinaj (14) | Makine Elektrik kabloları | Elektrik kablolarının koruyucu içerisinde bulunmaması | Çalışanlar/Ziyaretçiler/ Taşeron firma personeli/Tedarikçiler | Elektrik çarpması sonucu yaralanma, ölüm | Alçak Gerilim tel sarma makinelerine gelen elektrik kabloları yerde, koruyucusuz şekilde bulunmaktadır. | 3 | 6 | 40 | 720 | 1 | Çok Yüksek Risk |
| Bobinaj (15) | Asetilen-Oksijen kaynağı | Gaz kaçağı olması | Çalışanlar/Ziyaretçiler/ Taşeron firma personeli/Tedarikçiler | Gaz kaçağı sonucu yanma, parlama, patlama | Asetilen - Oksijen boruları ve hortumları elektrik kabloları ve panoları ile yan yanadır. | 3 | 6 | 100 | 1800 | 1 | Çok Yüksek Risk |
| Bobinaj (16) | Asetilen-Oksijen kaynağı | Gaz kaçağı olması | Çalışanlar/Ziyaretçiler/ Taşeron firma personeli/Tedarikçiler | Gaz kaçağı sonucu yanma, parlama, patlama | Asetilen - Oksijen hortumları yerlere dağınık şekilde bırakılmaktadır. | 3 | 6 | 100 | 1800 | 1 | Çok Yüksek Risk |
| Bobinaj (17) | Asetilen-Oksijen grup tüpler | Açık havada olması, güneş ışığına maruz kalma | Çalışanlar/Ziyaretçiler/ Taşeron firma personeli/Tedarikçiler | Parlama, patlama | Asetilen - Oksijen grup tüpleri üzerinde güneş ışınlarından, kötü hava koşullarından koruyucu tente bulunmamaktadır. | 1 | 10 | 100 | 1000 | 1 | Çok Yüksek Risk |
| Bobinaj (18) | Asetilen-Oksijen Grup tüpler | Emniyet geri tepme valfi olmaması | Çalışanlar/Ziyaretçiler/ Taşeron firma personeli/Tedarikçiler | Parlama, patlama | Alev emniyet geri tepme valfleri mevcuttur. | 3 | 3 | 40 | 360 | 2 | Yüksek Risk |
| Bobinaj /Alçak Gerilim makineleri (19) | Akçak Gerilim Makinesi Otomatik kaynak | Tüplerin bağlı olmaması | Çalışanlar/Ziyaretçiler/ Taşeron firma personeli/Tedarikçiler | Tüplerin devrilmesi sonucu yaralanma, ağır yaralanma, patlama | Alçak gerilim makinelerinde kullanılan helyum vb. tüpler herhangi bir zincir veya kayışla bağlı değildir. | 3 | 10 | 40 | 1200 | 1 | Çok Yüksek Risk |
| Bobinaj (20) | El Aletleri kullanımı | Maket bıçağı, çekici tokmak kullanılması | Çalışanlar/Ziyaretçiler/ Taşeron firma personeli/Tedarikçiler | Uzun kesilmesi, darbe sonucu yaralanma | El aletleri kullanımı konularında bilgilendirme yapılmaktadır. Kişisel Koruyucu Donanım (eldiven) kullanılmamaktadır. | 6 | 6 | 7 | 252 | 2 | Yüksek Risk |
| Bobinaj (21) | Kimyasal Malzeme kullanımı | Kimyasal maddeler ile temas | Çalışanlar/Ziyaretçiler/ Taşeron firma personeli/Tedarikçiler | İş günü kayıplı kazalar, yaralanma, yangın, patlama | Kimyasal malzemeler uygun şekilde depolanmamaktadır. | 3 | 6 | 40 | 720 | 1 | Çok Yüksek Risk |
| Bobinaj (22) | Kimyasal Malzeme kullanımı | Kimyasal maddeler ile temas | Çalışanlar/Ziyaretçiler/ Taşeron firma personeli/Tedarikçiler | İş günü kayıplı kazalar, yaralanma, yangın, patlama | Büyük kimyasal kaplardan, küçük kaplara aktarılan kimyasalların kaplarının üzerinde etiket bulunmamaktadır. | 3 | 6 | 40 | 720 | 1 | Çok Yüksek Risk |
| Bobinaj (23) | Bobin Sarım | Makine pedalları | Çalışanlar/Ziyaretçiler/ Taşeron firma personeli/Tedarikçiler | İş günü kayıplı kazalar, yaralanma | AG tel sarğı makinesi pedalında koruyucu muhafaza bulunmamaktadır. | 1 | 6 | 7 | 42 | 4 | Olası Risk |
| Bobinaj (24) | Bobin Sarım | Folyo yerleştirme | Çalışanlar/Ziyaretçiler/ Taşeron firma personeli/Tedarikçiler | İş günü kayıplı kazalar, yaralanma, uzuv kaybı | Alçak gerilim bobin sarğı makinesi folyo yerleştirme esnasında hidrolik sistem kendi kendine sıkıştırma yapmaktadır. | 1 | 2 | 15 | 30 | 4 | Olası Risk |
| Bobinaj (25) | Bobin Sarım | Folyodan kağıt atığı çıkması | Çalışanlar/Ziyaretçiler/ Taşeron firma personeli/Tedarikçiler | Yangın | 3 numaralı alçak gerilim makinesi folyo kısmında, folyonun arasında bulunan kağıtları saran aparat bulunmamaktadır. Makine altına kağıt atığı oluşmakta ve yangına sebebiyet vermektedir. | 3 | 1 | 40 | 120 | 3 | Önemli Risk |
| Bobinaj (26) | Bobin Sarım | Makineler çalışırken makineye müdahale edilmesi | Çalışanlar/Ziyaretçiler/ Taşeron firma personeli/Tedarikçiler | Uzuv sıkışması, kesilmesi, yaralanma, ağır yaralanma | Makineler durdurulmadan makinelere kenar şerit vb. malzemeler yerleştirilmesi, makineler çalışır vaziyette iken temizlik yapılması | 3 | 6 | 15 | 270 | 2 | Yüksek Risk |
| Bobinaj (27) | Makinelerden Bobin indirilmesi | Bobinin düşmesi | Operatörler ve tüm çalışanlar | Uzuv ezilmesi, yaralanma | Makinelerde sarılan bobinler vinçler ile makineden çıkarılmamakta ve istiflenmemektedir. | 3 | 6 | 7 | 126 | 3 | Önemli Risk |
| Bobinaj (28) | Malzeme taşınması | Bobinin düşmesi, malzeme düşmesi | Operatörler ve tüm çalışanlar | Uzuv ezilmesi, yaralanma | Vinçlerde kullanılan halatlar uygun değildir. | 3 | 6 | 7 | 126 | 3 | Önemli Risk |
| Bobinaj (29) | Makine topraklamaları | Topraklama olmaması | Çalışanlar/Ziyaretçiler/ Taşeron firma personeli/Tedarikçiler | Elektrik çarpması sonucu yaralanma, ölüm | Makinelerde topraklamalar mevcuttur | 0.5 | 0.5 | 40 | 10 | 5 | Önemsiz Risk |

Olası tehlikelerin belirlenmesi ve risk puanlarının hesaplanmasından sonra, enerji işletmelerindeki bobin sarma ünitesi için alınabilecek gerekli önlemler önerilmiştir. Aynı zamanda gerekli önlemlerin alınmasından sonraki risk puanları ayrıca Tablo 6'da verilmiştir. Buna göre, işletmelerdeki işçi ve işverenin önerilen önlemlere uyması durumunda risk tanımlamalarında ciddi bir iyileşme oluşabilecektir. Böylece tehlikeler kaynağından ve/veya oluşmadan önce önlenebilecektir.

Tablo 5 oluşturulurken İSG uzmanının deneyimleri ile literatürden toplanan bilgiler harmanlanmıştır [25-28]. Böylece bobin sarma ünitesine ait 29 tehlike belirlendikten sonra Denklem (1) uygulanarak risk puanları hesaplanmıştır. Buna göre;

Tehlikelerin belirlenmesi ile ortaya çıkan risk tanımlarında 'çok yüksek riskli' kategorisine giren tehlikeler Bobinaj 2,3,4,7,13,14,15,16,17,19,21,22 'dir ve $R \geq 400$ olduğu için muhakkak önlem alınması gerekmektedir. Bu riske maruz kalanlar ise çalışanlar, ziyaretçiler, taşeron firma personeli ve tedarikçilerdir. Bunun yanı sıra 'yüksek risk' kategorisine giren Bobinaj 5,6,8,20,26 'dır. Geriye kalan Bobinaj 1,23, ve 24 'olası risk' kategorisindedir. Bobinaj 2,3,4,7,13,14,15,16,17,19,21,22 'nin $R \geq 400$ olması sebebiyle ve tehlikeye maruz kalan kişi portföyünün geniş olması Tablo 6 'da ayrıca önerilen önlemlerin uygulanmasını gerektirmektedir. Bu önlemlerin alınması ile ilgili işveren ve işverenevkeki sorumludur.

Tablo 6. Düzenleyici Önlemlerin Alınmasından Sonraki Risk Değerlendirmesi

| Bölüm | Düzenleyici Önlem | Düzenleyici Önleyici Faliyet Sonrası Planlanan Riski Değerlendirmesi | | | | Risk Önceliklik Sırası | Riskin Tanımı |
|--------------|--|--|-----|-----|-----|------------------------|---------------|
| Bobinaj (1) | Acil çıkış yolları üzerinde, acil çıkış kapısı önünde ve üzerinde hiçbir engel/malzeme bulunmamalıdır. Acil çıkış kapısı tehlikesiz bir alana açılmalıdır. Acil çıkış aydınlatmaları düzenli olarak 6 ayda bir kontrol edilmelidir. Her yıl düzenli olarak Acil durum tatbikatları yapılmalıdır. | 0.2 | 0.5 | 100 | 10 | 5 | Önemsiz Risk |
| Bobinaj (2) | Yangın alarm butonları olmalı ve yangın alarm butonları arasındaki mesafe en fazla 60 metre olup üzerinde levhası asılı bulunmalıdır. | 0.2 | 0.5 | 100 | 10 | 5 | Önemsiz Risk |
| Bobinaj (3) | Yangın dolaplarının önleri açık olmalı, önlerinde hiçbir engel olmamalı, kolay ulaşılabilir olmalıdır. Yangın söndürücüler yerden 90 cm yüksek olacak şekilde asılı bulundurulmalı, herkesin göreceği şekilde konumlandırılmalı ve uygun levhalar ile işaretlenmelidir. | 0.2 | 0.5 | 100 | 10 | 5 | Önemsiz Risk |
| Bobinaj (4) | Raflar duvarlara bağlantı yapılarak, olası devrilmelere karşı sabitlemelidir. | 0.2 | 0.5 | 40 | 4 | 5 | Önemsiz Risk |
| Bobinaj (5) | Malzemeler hareket etmeyecek şekilde sabitlenerek raflara istiflenmeli ve yüksekliği 1,5 metreyi geçmemelidir. | 0.2 | 0.5 | 15 | 1.5 | 5 | Önemsiz Risk |
| Bobinaj (6) | Sık kullanılan malzemeler alt raflarda istiflenmeli, üst raflarda ki malzemelerin kullanmak için veya istif yapmak için elektrikli transpalet gibi kaldırma araçları kullanılmalı. Çalışanlar üst raflara çıkmamalıdır. | 0.2 | 0.5 | 15 | 1.5 | 5 | Önemsiz Risk |
| Bobinaj (7) | Bobin sarım esnasında uzuv girmemesi için sensör takılmalı, operatörler makine kullanımı hakkında sürekli eğitimler verilmelidir. Personeller çalışma esnasında bol kıyafet ile çalışmamalı ve yüzük, bileklik, saat vs. takmamalıdır. Operatörler iş başı yapmadan önce makinenin kontrollerini yapmalı, ACİL STOP butonunun çalışıp çalışmadığını kontrol etmelidir. | 0.2 | 0.5 | 40 | 4 | 5 | Önemsiz Risk |
| Bobinaj (8) | Bobin sarım esnasında tel gergisi alırken bobin ile tel arasına el parmak girmemelidir. Tel gergisi alınırken bobine uzak yüksek noktalardan müdahale yapılmalıdır. Makine kumandası makine kontrolü için ve acil durumlarda müdahale için operatörün yakınında olmalıdır. | 0.2 | 0.5 | 15 | 1.5 | 5 | Önemsiz Risk |
| Bobinaj (9) | Makine üzerinde çalışma yapılacağı zaman çalışanlar TS EN 361 standardına uygun paraşüt tipi emniyet kemeri takmalı ve EN 795 standardına uygun yaşam hattı bulunmalıdır. Makine müdahaleleri mümkün olduğunca üzerine çıkılmadan yapılmalıdır. | 0.2 | 0.5 | 15 | 1.5 | 5 | Önemsiz Risk |
| Bobinaj (10) | Tel kaynağı esnasında iki teli uç uca tutturmak için tel tutturma aparatı kullanılmalıdır. Kaynak yapılırken teli tutan operatör de , kaynağı yapan operatörde TS EN 166 standardında koruyucu gözlük kullanmalıdırlar. | 0.2 | 0.5 | 7 | 0.7 | 5 | Önemsiz Risk |
| Bobinaj (11) | Tel kaynağı esnasında iki teli uç uca tutturmak için tel tutturma aparatı kullanılmalıdır. | 0.2 | 0.5 | 15 | 1.5 | 5 | Önemsiz Risk |
| Bobinaj (12) | Yüksek Gerilim makinelerinin operatör tarafına bakan kısmında tel kopmaları yaşanması durumunda koruyucu muhafaza yapılmalıdır. Çalışanlar koruyucu gözlük takmalıdırlar. Yüksek gerilim makinelerine gelen elektrik kabloları ezilme ve yıpranmalara karşı koruyucu spiral içerisinden geçirilmelidir. Alçak gerilim makinelerine gelen elektrik kabloları kontrol edilerek kablo kanallarından koruyucu spirale içerisinde olacak şekilde geçirilmelidir. Tüm elektrik kabloları koruyucu spiral içerisine alınmalı ve ezilmelere, yıpranmalara karşı korunmaya alınmalıdır. | 0.2 | 0.5 | 15 | 1.5 | 5 | Önemsiz Risk |
| Bobinaj (13) | Yüksek gerilim makinelerine gelen elektrik kabloları ezilme ve yıpranmalara karşı koruyucu spiral içerisinden geçirilmelidir. Alçak gerilim makinelerine gelen elektrik kabloları kontrol edilerek kablo kanallarından koruyucu spirale içerisinde olacak şekilde geçirilmelidir. Tüm elektrik kabloları koruyucu spiral içerisine alınmalı ve ezilmelere, yıpranmalara karşı korunmaya alınmalıdır. | 0.5 | 0.5 | 40 | 10 | 5 | Önemsiz Risk |
| Bobinaj (14) | Elektrik kabloları koruyucu muhafazalarda olmalıdır. Elektrik kabloları ve hava hortumları takılma ve düşmeleri önleyecek şekilde düzenlenmelidir. | 0.5 | 0.5 | 40 | 10 | 5 | Önemsiz Risk |
| Bobinaj (15) | Asetilen yanıcı ve patlayıcı bir gazdır. En ufak kıvılcımdan etkilenebilir. Yanıcı gazlar ile elektrik kabloları veya elektrik panoları yan yana olmamalıdır. Asetilen-oksijen hatları kaçaklara karşı düzenli periyotlarda kontrol edilmelidir. Asetilen-oksijen kaynağı yapılırken hortumlar TS EN 3821 standardına uygun olmalı ve şaloma ve hortumda alev geri tepme emniyet valfleri bulunmalıdır. | 0.2 | 0.5 | 100 | 10 | 5 | Önemsiz Risk |
| Bobinaj (16) | Asetilen - Oksijen hortumları kullanım esnasında açılmalıdır, kaynak bittikten sonra toparlanıp düzneli şekilde asılmalıdır. Hortumlar ve Şaloma yerde olmamalı, üzerine basılmaması için toplu şekilde kolonlara asılmalıdır. Kaynak yapan operatörler hortumlarda veya şalomada herhangi bir deformasyon gördüklerinde bölüm sorumlusu ve ilgili birimlere haber vermelidir. Asetilen-oksijen kaynağı yapılırken hortumlar TS EN 3821 standardına uygun olmalı ve şaloma ve hortumda alev geri tepme emniyet valfleri bulunmalıdır. | 0.2 | 0.5 | 100 | 10 | 5 | Önemsiz Risk |

Tablo 6. Düzenleyici Önlemlerin Alınmasından Sonraki Risk Değerlendirmesi (devamı)

| Bölüm | Düzenleyici Önlem | Düzenleyici Önleyici Faliyet Sonrası Planlanan Riski Değerlendirmesi | | | | Risk Önleyicilik Sırası | Riskin Tanımı |
|--|--|--|-----|-----|-----|-------------------------|---------------|
| Bobinaj (17) | Gaz tüpleri; havalandırılmış, iyi aydınlatılmış ve yanıcı maddelerden uzak bir yerde muhafaza edilmelidir. Yanıcı gaz içeren tüpler; oksijen ve diğer oksidan tüplerden bir duvar ile ayrılmalı ya da aralarında 6,1 metre mesafe olmalıdır. Depo alanları; fazla ısı ve açık ateş kaynaklarından uzak bir yerde, kapalı veya yeraltında olmalıdır. Kuru, soğuk ve iyi havalandırılmış olmalıdır. Açık havada depolama, kuru ve havadan korunmuş olmalıdır. Tüpler gerekiyorsa zincir veya kayış ile bağlanmalı ve dik konumda olmalıdır. Gerekli uyarı işaretleri asılmalı ve uygun bir yangın söndürücü bulundurulmalıdır. | 0.2 | 0.5 | 100 | 10 | 5 | Önemsiz Risk |
| Bobinaj (18) | Tüp girişinde, hortum arasında ve şalomo üzerinde alev emniyet geri tepme valfi olmalıdır. Alev emniyet geri tepme valfi olmadan çalışma yapılmamalıdır. Periyodik olarak alev emniyet valfleri değiştirilmelidir. | 0.2 | 0.5 | 40 | 4 | 5 | Önemsiz Risk |
| Bobinaj /Alçak Gerilim Makineleri (19) | Kullanılan tüplerin hepsi dik konumda bulunmalı, zincir veya kayış ile düşme, devrilmelere karşı bağlı olmalıdır. Kullanılmayan, boş olan tüpler, tüp depo alanında depolanmalıdır. | 0.2 | 0.5 | 40 | 4 | 5 | Önemsiz Risk |
| Bobinaj (20) | Emniyetli maket bıçakları kullanılmalıdır. Çalışanlar maket bıçağı ve diğer el aletleri (çekiç, tokmak vb.) kullanımı konularında bilgilendirilmeli ve eğitilmelidir. Eldiven, koruyucu gözlük gibi kişisel koruyucu donanımların çalışanlar tarafından kullanılması sağlanmalıdır. Bölümlerde kullanılan kimyasallar (tiner, aseton, tutkal vb.) için kilitli, korumalı bir bölüm yapılmalı ve kimyasallar bu alanlarda muhafaza edilmelidir. Yere Dökülmemesi için taşıma kapları olmalıdır. Kimyasalların Malzeme güvenlik bilgi formu(MSDS) bu alanda bulunmalı ve çalışanlar bilgilendirilmelidir. | 0.2 | 0.5 | 7 | 0.7 | 5 | Önemsiz Risk |
| Bobinaj (21) | Kullanılan tüm kimyasallar izinsiz şekilde alınmamalıdır. Kullanılan kimyasalların üzerinde kimyasal maddeyi belirten etiketler mutlaka bulunmalıdır. MSDS ler asılmalıdır ve çalışanlar bu konuda bilgilendirilmelidir. Kimyasal maddeler kullanıldıktan sonra fazlası kimyasal madde depolama alanında uygun şekilde depolanmalıdır. | 0.2 | 0.5 | 40 | 4 | 5 | Önemsiz Risk |
| Bobinaj (22) | Alçak gerilim ve yüksek gerilim bobin sargı makinelerinin pedalları koruyucu muhafazalı olmalıdır. İstenmeyecek şekilde makinenin çalışması engellenmelidir. | 0.2 | 0.5 | 7 | 0.7 | 5 | Önemsiz Risk |
| Bobinaj (23) | Makinelerin düzenli yağlama ve bakımları yapılmalıdır. Bakım planları çıkarılmalıdır. | 0.2 | 0.5 | 15 | 1.5 | 5 | Önemsiz Risk |
| Bobinaj (24) | Operatörler her gün işe başlamadan makinelerin genel kontrollerini yapmalı ve herhangi olumsuz durumu bölüm sorumlusu ve bakım birimine haber vermelidir. AG makinesi folyo takılan kısmı kontrol edilmeli ve onarılmalıdır. | 0.2 | 0.5 | 15 | 1.5 | 5 | Önemsiz Risk |
| Bobinaj (25) | Alçak gerilim makinelerinin kağıt sarma aparatları olmalıdır. Kağıt atığı ,tiner, tutkal gibi yanıcı malzemeler kaynak gibi ateşli işlerin yakınlarında bulundurulmamalıdır. | 0.2 | 0.5 | 40 | 4 | 5 | Önemsiz Risk |
| Bobinaj (26) | Makineler çalışır vaziyette iken malzeme takviyesi yapılmamalı, temizlik yapılmamalıdır. Makine çalışma esnasında operatör makineyi terk etmemeli ve bakım işlemleri yapılmamalıdır. | 0.2 | 0.5 | 15 | 1.5 | 5 | Önemsiz Risk |
| Bobinaj (27) | Çalışanlar makinede sarılmış bobinleri çıkarıp, istiflerken vinç kullanımı konusunda uyarılmalı ve eğitilmelidirler. 20 kg'dan ağır yükler vinç gibi kaldırma araçları kullanılarak taşınmalıdır. | 0.2 | 0.5 | 7 | 0.7 | 5 | Önemsiz Risk |
| Bobinaj (28) | Vinçlerde kullanılan çelik ve bez halatlar CE sertifikalı olmalıdır. Herhangi bir kesik, ezilme olması durumunda kullanılmamalıdır. | 0.2 | 0.5 | 7 | 0.7 | 5 | Önemsiz Risk |
| Bobinaj (29) | Makine topraklamaları operatör ve elektrik bakım birimi tarafından sürekli kontrolleri sağlanmalıdır. | 0.2 | 0.5 | 40 | 4 | 5 | Önemsiz Risk |

Yapılmış güncel çalışmalar ve öngörülen olası risklerin değerlendirilmesi sonucunda enerji ve güç sektörüne ait farklı risk değerlendirme çalışmaları olduğu görülerek, her farklı bölüm ve her farklı durum için alınabilecek önlemlerin o anki duruma bağlı olduğu tespit edilmiştir [29].

5. Sonuçlar

Fine-Kinney tabanlı risk değerlendirme yöntemi, İSG risk değerlendirmesi için çeşitli işyerlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu metot sayesinde alınabilecek önlemler belirlenip, teknolojik sürecin yürütülmesi sırasında çeşitli kazaların, olayların ve mali kayıpların azalması sağlanabilecektir. Tehlikelerin belirlenmesinin ardından yapılan risk analizi sonucunda $R \geq 400$ olan değerler ortaya çıkarılmış ve önlem alınması kaçınılmaz olması sebebiyle belirlenen tehlikeler için önlemler alınması önerilmiştir.

Tablo 6'da bobin sarma ünitesi bölümüne ait tehlike karşısında alınabilecek önlemler özet halinde verilmiştir. Riskin ($R \geq 400$)'den büyük olduğu önlem alınması kaçınılmaz durumlar için İSG uzmanının görüşleri alınarak literatürdeki bilgiler harmanlanarak enerji firmalarında bobin sarma ünitesi için yeni önlemler sunulmuştur. Buna göre alınabilecek önlemler bobin sarma üniteleri için sırasıyla verilmiştir;

- ✓ *Bobinaj 2* için; Yangın alarm butonları olmalı ve yangın alarm butonları arasındaki mesafe en fazla 60 metre olup üzerinde levhası asılı bulunmalıdır.
- ✓ *Bobinaj 3* için; Yangın dolaplarının önleri açık olmalı, önlerinde hiçbir engel olmamalı, kolay ulaşılabilir olmalıdır. Yangın söndürücüler yerden 90 cm yüksek olacak şekilde asılı bulundurulmalı, herkesin göreceği şekilde konumlandırılmalı ve uygun levhalar ile işaretlenmelidir.
- ✓ *Bobinaj 4* için; Raflar duvarlara bağlantı yapılarak, olası devrilmelere karşı sabitlenmelidir.
- ✓ *Bobinaj 7* için; Bobin sarım esnasında uzuv girmemesi için sensör takılmalı, operatörler makine kullanımı hakkında sürekli eğitimler verilmelidir. Personeller çalışma esnasında bol kıyafet ile çalışmamalı ve yüzük, bileklik, saat vs. takmamalıdır. Operatörler iş başı yapmadan önce makinenin kontrollerini yapmalı, ACİL STOP butonunun çalışıp çalışmadığını kontrol etmelidir.
- ✓ *Bobinaj 13* için; Yüksek gerilim makinelerine gelen elektrik kabloları ezilme ve yıpranmalara karşı koruyucu spiral içerisinden geçirilmelidir. Alçak gerilim makinelerine gelen elektrik kabloları kontrol edilerek kablo kanallarından koruyucu spirale içerisinde olacak şekilde geçirilmelidir. Tüm elektrik kabloları koruyucu spiral içerisine alınmalı ve ezilmelere, yıpranmalara karşı korunmaya alınmalıdır.
- ✓ *Bobinaj 14* için; Elektrik kabloları koruyucu muhafazalarda olmalıdır. Elektrik kabloları ve hava hortumları takılma ve düşmeleri önleyecek şekilde düzenlenmelidir.
- ✓ *Bobinaj 15* için; Asetilen yanıcı ve patlayıcı bir gazdır. En ufak kıvılcımdan etkilenebilir. Yanıcı gazlar ile elektrik kabloları veya elektrik panoları yan yana olmamalıdır. Asetilen-oksijen hatları kaçaklara karşı düzenli periyotlarda kontrol edilmelidir. Asetilen-oksijen kaynağı yapılırken hortumlar TS EN 3821 standardına uygun olmalı ve şaloma ve hortumda alev geri tepme emniyet valfleri bulunmalıdır.
- ✓ *Bobinaj 16* için; Asetilen - Oksijen hortumları kullanım esnasında açılmalıdır, kaynak bittikten sonra toparlanıp düzneli şekilde asılmalıdır. Hortumlar ve Şaloma yerde olmamalı, üzerine basılmaması için toplu şekilde kolonlara asılmalıdır. Kaynak yapan operatörler hortumlarda veya şalomada herhangi bir deformasyon gördüklerinde bölüm sorumlusu ve ilgili birimlere haber vermelidir. Asetilen-oksijen kaynağı yapılırken hortumlar TS EN 3821 standardına uygun olmalı ve şaloma ve hortumda alev geri tepme emniyet valfleri bulunmalıdır.
- ✓ *Bobinaj 17* için; Gaz tüpleri; havalandırılmış, iyi aydınlatılmış ve yanıcı maddelerden uzak bir yerde muhafaza edilmelidir. Yanıcı gaz içeren tüpler; oksijen ve diğer oksidan tüplerden bir duvar ile ayrılmalı ya da aralarında 6,1 metre mesafe olmalıdır. Depo alanları; fazla ısı ve açık ateş kaynaklarından uzak bir yerde, kapalı veya yeraltında olmalıdır. Kuru, soğuk ve iyi havalandırılmış olmalıdır. Açık havada depolama, kuru ve havadan korunmuş olmalıdır. Tüpler gerekiyorsa zincir veya kayış ile bağlanmalı ve dik konumda olmalıdır. Gerekli uyarı işaretleri asılmalı ve uygun bir yangın söndürücü bulundurulmalıdır.
- ✓ *Bobinaj 19* için; Kullanılan tüplerin hepsi dik konumda bulunmalı, zincir veya kayış ile düşme, devrilmelere karşı bağlı olmalıdır. Kullanılmayan, boş olan tüpler, tüp depo alanında depolanmalıdır.
- ✓ *Bobinaj 21* için; Bölümlerde kullanılan kimyasallar(tiner, aseton, tutkal vb.) için kilitli, korumalı bir bölüm yapılmalı ve kimyasallar bu alanlarda muhafaza edilmelidir. Yere Dökülmemesi için taşma kapları olmalıdır. Kimyasalların Malzeme güvenlik bilgi formu(MSDS) bu alanda bulunmalı ve çalışanlar bilgilendirilmelidir.
- ✓ *Bobinaj 22* için; Kullanılan tüm kimyasallar izinsiz şekilde alınmamalıdır. Kullanılan kimyasalların üzerinde kimyasal maddeyi belirten etiketler mutlaka bulunmalıdır. MSDS ler asılmalıdır ve çalışanlar bu konuda bilgilendirilmelidir. Kimyasal maddeler kullanıldıktan sonra fazlası kimyasal madde depolama alanında uygun şekilde depolanmalıdır.

Tehlikelere ait önlemlerin belirlenmesi ve tekrar risk derecelerinin hesaplanması neticesinde riskin tanımı ‘-çok yüksek riskli’ kategorisinden ‘önemsiz risk’ kategorisine indirgenebilmiştir. Böylece enerji firmalarının bobin sarma ünitelerinde Tablo 6’da önerilen önlemler alınırsa riske ait sorumluluğu olan kişiler de işveren ve/veya işveren vekiline ait olabilecektir.

Belirlenen tehlikeler ve sunulan önlemler, çeşitli olumsuz durumlardan işletmeye verilen zararı azaltıp, işletmedeki işgücü koruma düzeyini iyileştirmek için kullanılabilir. Aynı zamanda belirlenen tehlikeler ve sunulan önlemlerin çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak ağırlıklı ağırlıklandırılması yapılabilir. Fine-Kinney ile diğer risk değerlendirme metotları hibritlenebilir ayrıca risk değerlendirme metotları ile kullanılan karar verme metotları da hibritlenerek sonuçlar yorumlanabilir.

Referanslar

- [1] M. Rausand, "Risk Assessment: Theory, Methods, and Applications John Wiley & Sons.Safety and health management" Safety Science, vol. 64,p. 1–12, 2013.
- [2] E. İlbahar, A. Karaşan, S. Cebi and C. Kahraman, "A novel approach to risk assessment for occupational health and safety using Pythagorean fuzzy AHP & fuzzy inference system", Safety Science,vol. 103, p. 124–36. 2018.
- [3] A. Kokangül, U. Polat and C. Dagsuyu, "A new approximation for risk assessment using the AHP and Fine Kinney methodologies", Saf. Sci, vol. 91, p. 24–32, 2017.
- [4] A. Adriaensen, W. Decré and L. Pintelon, "Can Complexity-Thinking Methods Contribute to Improving Occupational Safety in Industry 4.0", A Review of Safety Analysis Methods and Their Concepts Safety.vol. 5, p. 65. 2019.
- [5] P. Swuste, L. Goossens,F. Bakker and J. Schrover, " Evaluation of accident scenarios in a dutch steel works using a hazard and operability study", Safety Science, vol. 26, p. 63–74, 1997.
- [6] S. Ishteyaque, S. Jabeen, S.H. Abro, A.A. Ghani, S. Sikandar and Q. Saim, "Hazard And Operability Study Of Gas Exploration Field Located in Pakistan", Sindh University Research Journal (Science Series) p.7, 2018.
- [7] D. Komljenovic, W.A Groves and V.J. "Keckojevic Injuries in U.S. mining operations – A preliminary risk analysis ", Safety Science, vol. 46, p. 792–801, 2008.
- [8] C-F. Chi, S-Z.,Lin and R.S. Dewi, "Graphical fault tree analysis for fatal falls in the construction industry Accident ", Analysis & Prevention, vol. 72, p.359–69, 2014.
- [9] E. Bas, "A framework for child safety and health management by analogy to occupational," 2014.
- [10] P. K. Marhavilas, D. Koulouriotis and V. Gemeni, "Risk analysis and assessment methodologies in the work sites: On a review, classification and comparative study of the scientific literature of the period 2000–2009", Journal of Loss Prevention in the Process Industries, vol, 24(5), p. 477-523, 2011.
- [11] W. Wang, X. Liu and S. Liu, " Failure mode and effect analysis for machine tool risk analysis using extended gained and lost dominance score method", IEEE Trans. Reliab.vol. 69,p. 954–967,2020.
- [12] R. Dabbagh and S. Yousefi, " A hybrid decision-making approach based on FCM and MOORA for occupational health and safety risk analysis", J. Saf. Res. Vol. 71, p. 111–123, 2019.
- [13] M. Gul, and E. Celik, "Fuzzy rule-based Fine–Kinney risk assessment approach for rail transportation systems", Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, vol. 24(7), p.1786-1812, 2018.
- [14] E. Zarei, A. Azadeh, N. Khakzad, M.M. Aliabadi and I. Mohammadfam, " Dynamic safety assessment of natural gas stations using Bayesian network", Journal of Hazardous Materials vol, 321,p. 830–40,2017.
- [15] Liu, C. T., Hwang, S. L., & Lin, I. K. (2013). Safety Analysis of Combined FMEA and FTA with Computer Software Assistance–Take Photovoltaic Plant for Example. IFAC Proceedings Volumes, 46(9), 2151-2155.
- [16] M.C. Şengöz and M. Merdan,"Fine-Kinney Risk Analizi Metoduyla, İş Yerlerinde Elektrik Nedenli Yangınların Önlenmesinde Yeni bir Yöntem", Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi (GMBD), vol. 3(3), p. 74-82, 2017.
- [17] W. Wang, X. Liu and Y. Qin, "A fuzzy Fine-Kinney-based risk evaluation approach with extended MULTIMOORA method based on Choquet integral", Computers & Industrial Engineering, vol. 125, p.111–23, 2018.
- [18] A. Eleren, and M. Ersoy, "Mermer blok kesim yöntemlerinin bulanık TOPSIS yöntemiyle değerlendirilmesi", *Madencilik*, vol. 46(3),p. 9-22, 2007.
- [19] A.K.E.R. Aygül, "Metal sektöründe 5x5 Matris ve Fine-Kinney yöntemi ile risk değerlendirmesi", *Karaelmas İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi*, vol. 4(1),p. 65-75, 2020.
- [20] J. Tang, X. Liu, and W. Wang," A hybrid risk prioritization method based on generalized TODIM and BWM for Fine-Kinney under interval type-2 fuzzy environment", *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, vol. 27(4), p. 954-979. 2021.

- [21] V. Kuleshov, P.Y. Skuba and I.A. Ignatovich,” Assessment of the Severity of the Last Accident Based on the Fine-Kinney Method. In IOP Conference Series”: Earth and Environmental Science . vol. 720(1), 2021.
- [22] A. Milli, S. Salman and E. Sancak, “A case of risk assessment by using Fine-Kinney method in sub-leather processing”, Usak University Journal of Engineering Sciences, vol. 4(1), p. 42-57, 2021.
- [23] B. Bepary and G. Kabir,” Occupational risk assessment of wind turbines in Bangladesh”, Applied System Innovation, vol. 5(2), p. 34, 2022.
- [24] Derse, O. A new approach to the Fine Kinney method with AHP based ELECTRE I and math model on risk assessment for natural disasters. *J Geogr*, 42,p. 155-164,2021.
- [25] G.F. Kinney and A.D. Wiruth,” Practical risk analysis for safety management”, CA, 1976.
- [26] Computer Software Assistance – Take Photovoltaic Plant for Example IFAC Proceedings Volumes 46, 2151–5.
- [27] Y. Fang, M.A.K Rasel and P.C. Richmond, “ Consequence risk analysis using operating procedure event trees and dynamic simulation”, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, vol. 67, p. 104235,2020.
- [28] M. Gul, B. Guven and A.F. Guneri, ”A new Fine-Kinney-based risk assessment framework using FAHP-FVIKOR incorporation”, J. Loss Prevent. Proc., vol. 53, p. 3–16,2018.
- [29] E. I., Bardyk and N. Bolotnyi.” An Analysis of Uncertainty for Failure Risk Assessment of Power Transformer. In 2022 IEEE 8th International Conference on Energy Smart Systems (ESS)”, pp. 31-35, IEEE, 2022, October.

Crystal Structure of Zwitterionic (E)-9-(((3-hydroxyphenyl)iminio)methyl)-1,2,3,5,6,7- Hexahydropyrido[3,2,1-ij]Quinolin-8-Olate

Hasan İnaç^{a,1}

^a Kırıkkale University, Faculty of Education, Kırıkkale, Turkey
ORCID ID: 0000-0002-8870-5317

Abstract

The title compound (1), C₁₉H₂₀N₂O₂, crystallized with single molecule in the asymmetric unit and is present in the zwitterionic form. The compound was synthesized from the condensation reaction of 8-hydroxyjulolidine-9-carbaldehyde and 3-aminophenol. In solid state compound adopts the keto–amine tautomeric form, with the H atom attached to the N atom, which participates in an intramolecular N—H···O hydrogen bond with an S(6) ring motif. The conformation about the C=N bond is E. The aromatic ring of the julolidine moiety is inclined to the phenol ring by 13.00 (10)°. The fused non-aromatic rings of the julolidine moiety adopts a screw-boat conformations. In the crystal, the molecules are connected by N—H···O and O—H···O hydrogen bonds, with adjacent molecules related by a 21 screw axis, generating A–B–A–B–zigzag chains extending along [010]. Furthermore, adjacent molecules are linked by pairs of C—H···O interactions, forming a ladder-like structure propagating along the *a*-axis direction. Density functional theory (DFT) optimized structures at the B3LYP/6–311 G(d,p) level is compared with the experimentally determined molecular structure in the solid state.

Keywords: “Crystal structure, schiff base, julolidine, 8-hydroxyjulolidine-9-carboxaldehyde, hydrogen bonding, zwitterion, 3-aminophenol.”

1. Giriş

1.1. Kimyasal İçerik

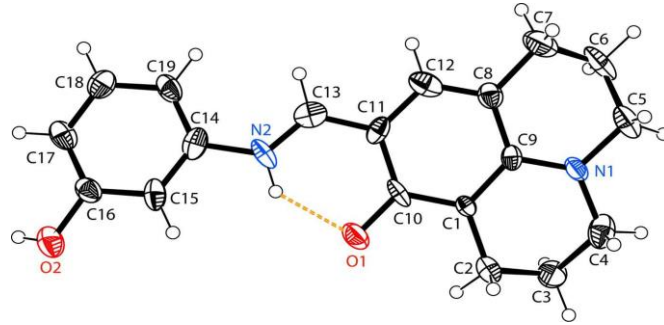
Julolidin, kimyasal olarak, aromatik halkaya geri halkalar oluşturan iki N-alkil bir anilin türevidir. Yalnız birbirine nitrojen elektron çifti halkası ile bağlanarak olağandışı tepkimeye yol açar. 8-Hydroxyjulolidine-9-carboxaldehyde, floresans kemosenörlerinde kullanılan iyi bilinen bir kromofordur. Çünkü julolidine kısmı genellikle sulu solüsyonlarda çözünür [1,2,3]. Julolidin halkası içeren bileşikler, ölçüm için flüoresan probalar olarak kullanılan uyarılmış durumda molekül içi proton transferi sergiler [4]. Hücre zarı viskozitesinin ölçüsü Bazı moleküllerde julolidin halka sisteminin varlığı, onları bakır, çinko, demir ve alüminyum iyonlarının yanı sıra florür iyonlarının kromojenik çıplak gözle tespiti olarak yararlı kılar [5,6,7]. Julolidin bazı malzemeler, dikiyanometilpiran modüllerine bağlandığında OLED'lerde kırmızı yayıcılar olarak da kullanılır[8]. Julolidinmalononitril, büyük hiperpolarize edilebilirliğe sahip "itme-çekme" molekülü görevi görür ve moleküllerin doğrusal olmayan optik özelliklerini anlamak için bir model sistem olarak kullanılır [9]. Literatürde 8-hidroksijulolidin-9-karboksaldehit bazı Schiff bazları ve bunların metal sensörler olarak uygulamaları hakkında birçok rapor bulunmaktadır (10,7,8). Mevcut çalışma, julolidin halka sistemine dayalı Schiff bazlarının devam eden yapısal çalışmasının bir parçasıdır (11,12,13). Bu çalışmada julolidine halka sisteminin kristal yapısı ve DFT hesaplamaları elde edildi. B3LYP/6–311 G(d,p) seviyesinde gerçekleştirilen yoğunluk fonksiyonel teorisi (DFT) ile yapılan hesaplamalar, katı halde deneysel olarak belirlenen moleküler yapı ile karşılaştırıldı.

¹ Corresponding Author
E-mail Address: hinac@kku.edu.tr

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Yapısal Yorum

Başlıkta belirtilen bileşik (Şekil 1) katı halde zitteriyonik formda bulunmaktadır. Molekül içi bir N—H···O hidrojen bağı, moleküler yapıyı stabilize eder (Tablo 1 ve Şekil 2); Bu, ilgili imin-fenol bileşiklerinde yaygın olmayan bir özelliktir. -175,8 (6)°'lik bir C11—C13—N2—C14 burulma açısı sergileyen imin grubu molekülün genel düzlemsel olmamasına katkıda bulunur. Julolidin parçasının aromatik halkası (C1/C8—C12) fenol halkasına (C14—C19) 13.00 (10)° eğimlidir. Julolidin parçasının erimiş aromatik olmayan halkaları, bir vidalı tekne konformasyonlarını benimser. Tatomerlere bağlı olarak, Schiff bazlarında iki tür molekül içi hidrojen bağı gözlenir: fenol-imin'de O—H···N ve keto-amin tautomerlerinde N—H···O. Mevcut analiz, başlıktaki bileşiğin fenol-imin formunda var olduğunu göstermektedir (Şekil 1). Bir S(6) halka motifi oluşturan molekül içi bir N—H···O hidrojen bağı sergiler (Şekil 1 ve Tablo 1). Bu molekül içi N—H···O hidrojen bağı daha önce julolidin türevlerinde bulunmamış [14,11,12], ancak salisilaldehit türevi schiff bazında tespit edilmiştir [15]. C10—O1 [1.296 (6) Å] bağ uzunluğu, çift bağ ve destekleyici keto-amin tatomeri ile uyumludur. C16—O2 [1.360 (7) Å] bağ uzunluğu, benzer bileşikler için bildirilen değerlerle uyumludur, yani. 5-dietil-amino-2-[(E)-(2,4-dimetoksifenil)iminometil]fenol ve 8-[(E)-(4-klorofenil)imino]-metil-1,1,7,7-tetra-metil-1,2,3,5,6,7-heksahidropirido[3,2,1-ij]kinolin-9-ol [16].

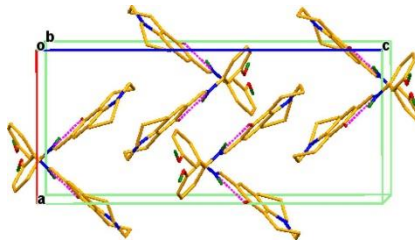


Şekil 1. Başlıktaki bileşiğin moleküler yapısı, atom işaretlemesi ve molekül içi N—H···O hidrojen bağının kesikli bir çizgi olarak görünümü (ayrıntılar için Tablo 1'e bakın). Yer değiştirme elipsoidleri %40 olasılık seviyesinde çizilmiştir.

Tablo 1. Hidrojen bağı geometrisi (Å)

| <i>D</i> —H··· <i>A</i> | <i>D</i> —H | H··· <i>A</i> | <i>D</i> ··· <i>A</i> | <i>D</i> —H··· <i>A</i> |
|----------------------------|-------------|---------------|-----------------------|-------------------------|
| O2—H2···O1 ⁱ | 0.82 | 1.73 | 2.546 (6) | 172.6 |
| N2—H2C···O1 | 0.86 | 1.90 | 2.599 (7) | 137.1 |
| C13—H13···O2 ⁱⁱ | 0.93 | 2.50 | 3.161 (8) | 128.2 |
| C5—H5B···O2 ⁱⁱⁱ | 0.97 | 2.55 | 3.398 (9) | 146.2 |

Simetri kodları: (i) $x+1/2, -y+1/2, -z+1$; (ii) $-x+3/2, y+1/2, z$; (iii) $-x+1, -y+1, -z+1$.



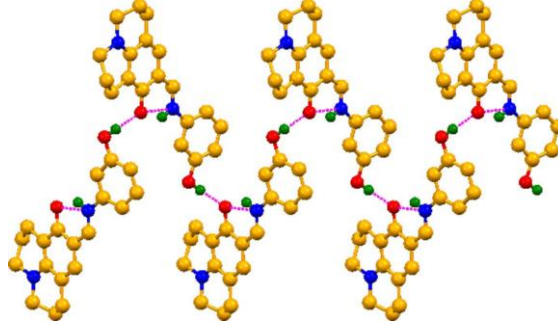
Şekil 2. b eksenini boyunca uzanan tek boyutlu -A-B-A-B- zikzak hidrojen bağlı zincirin bir görünümü. Hidrojen bağları kesikli çizgilerle gösterilmiştir.

3. Bulgular ve Sonuç

3.1. DFT Çalışması

DFT kuantum-kimyasal hesaplamaları, GAUSSIAN09'da [17] uygulandığı gibi B3LYP/6-311 G(d,p) seviyesinde [18] yapılmıştır. DFT yapı optimizasyonu (I) X-ışını geometrisinden başlanarak yapıldı ve değerler deneysel değerlerle karşılaştırıldı

(bkz. Tablo 3). Bu sonuçlardan, 6–311 G(d,p) temel setinin deneysel verilere yaklaşımı açısından çok uygun olduğu sonucuna varabiliriz. LUMO ve HOMO yörünge enerji parametreleri, bir molekülün yük transferi, kimyasal reaktivitesi ve kinetik/termodinamik kararlılığı için önemli ölçüde sorumludur. DFT çalışması, HOMO ve LUMO'nun tüm julolidin halkasından HOMO-1, HOMO, LUMO ve LUMO+1 enerji seviyelerinin salisilaldehit halkası ve elektron dağılımı Şekil 3'te gösterilmiştir. HOMO'nun moleküler orbitalinde hem sigma hem de π karakteri bulunurken HOMO-1 ve π -orbital yoğunlukla hakimdir. LUMO esas olarak σ yoğunluğundan oluşurken, LUMO+1 hem σ hem de π elektronik yoğunluktan oluşur. HOMO-LUMO boşluğu 0,08167 a.u. olarak bulundu ve sınır moleküler yörünge enerjileri, EHOMO ve ELUMO sırasıyla -0.11077 ve -0.02910 a.u. olarak bulundu.



Şekil 3 Başlıktaki bileşiğin kristal dolgusunun c eksenini boyunca bir görünümü.

Tablo 2. Hesaplanan (DFT) ve X-ışını verilerinden (I) (Å, °) için seçilen geometrik verilerin karşılaştırılması.

| Bonds | X-ray | B3LYP/6–311 G(d,p). |
|------------|-------------|---------------------|
| C10—O1 | 1.231 (3) | 1.231 |
| C3—O2 | 1.345 (3) | 1.345 |
| C1—C2 | 1.431 (3) | 1.431 |
| N1—C5 | 1.381 (2) | 1.381 |
| O1—C1—C2 | 126.2 (2) | 126.22 |
| C1—C2—C3 | 121.34 (18) | 120.25 |
| C11—N1—C10 | 116.83 (15) | 116.81 |

3.2. Supramoleküler Özellikler

Kristalde, moleküller N—H \cdots O ve O—H \cdots O hidrojen bağları ile birbirine bağlıdır ve bitişik moleküller 21 vidalı bir eksenle bağlantılıdır ve dolayısıyla uzayan A—B—A—B—zikkaz zincirleri oluşturur. [010] boyunca Kristalde bitişik moleküller, C—H \cdots O etkileşim çiftleri tarafından birbirine bağlanır ve a eksenini yönünde ilerleyen merdiven benzeri bir yapı oluşturur.

3.3. Veri tabanı Araştırması

Literatürde benzer bileşiklerin çok az örneği vardır ve bildiğimiz kadarıyla, Kimyasal bağlam bölümünde bahsedilen sulu çözeltide Zn²⁺'nin seçici tespiti için yeni floresan kemosensör [6] kristalografik olarak karakterize edilmemiştir. Cambridge Structural Database'de (CSD, Sürüm 5.37, güncelleme Mayıs 2016; [19] yapılan aramada, julolidine kısmı için 123 sonuç bulundu. Bunlardan altı tanesi 8 pozisyonunda bir OH grubuna sahiptir ve dördü ayrıca 1 pozisyonunda bir C=N grubuna sahiptir. 9-{{(4-kloro-fenil)imino} metil}-1,1,7,7-tetrametil-2,3,6,7-tetrahidro-1H,5H-pirido[3,2,1-ij] kinolin-8-olate[16]. Çalışmamdaki bileşiğe benzer ancak molekül içi bir O—H \cdots N hidrojen bağıyla fenol-imin formunda bulunur. Çok benzer bileşikler olarak 9,9-{{(1E,1E)-[1,4-fenilenbis (azanililiden)]bis(metanililiden)}}bis(2,3,6,7-tetrahidro-1H,5H-pirido[3,2,1-ij]kinolin-8-ol) ve (E)-9-{{[4-(dietilamino)fenil]imino}-metil}-2,3,6,7-tetrahidro-1H,5H-pirido[3,2,1-ij]kinolin-8-ol görülmüştür. Ancak her iki bileşik de molekül içi O—H \cdots N hidrojen bağı etkileşimi göstermektedir.

3.4. Sentez ve Kristalleşme

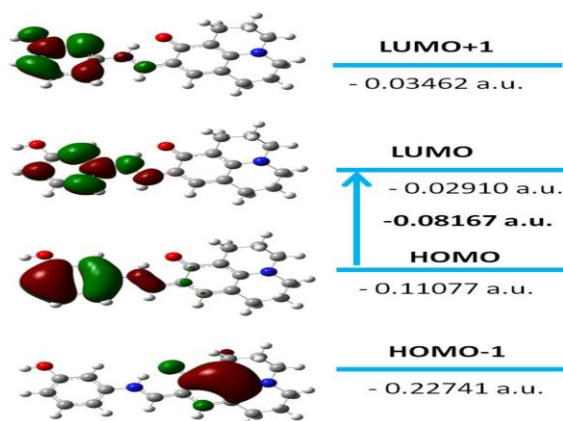
Mutlak etanol (3 ml) içindeki 3-aminofenole (50 mg, 0.46 mmol) 8-hidroksijulolidin-9-karboksaldehidin (100 mg, 0.46 mmol) etanolik bir çözeltisi eklendi. Reaksiyon çözeltisine iki damla HCl ilave edildi ve 2 saat oda sıcaklığında karıştırıldı. Nihai sarı çökelti, süzme yoluyla geri kazanıldı, birkaç kez küçük porsiyonlarda buz EtOH ve ardından dietil eter ile yıkanarak 122 mg (%86) başlık bileşiği elde edildi. X-ışını kırınım analizi için uygun sarı blok benzeri kristaller, metanol içindeki bir çözeltinin yavaş buharlaştırılmasıyla üç gün içinde elde edildi.

3.5. İyileştirme

Kristal verileri, veri toplama ve yapı arıtma detayları Tablo 2'de özetlenmiştir. N—H ve H atomları, bir fark Fourier haritasında yerleştirilmiştir. Konumsal ve izotropik termal parametreleri, iyileştirmenin sonraki aşamalarında dahil edildi. Tüm C'ye bağlı H atomları geometrik olarak konumlandırıldı ve C—H = 0.93–0.97 Å ve Uiso(H) = 1.2–1.5Ueq(C) ile bir sürme modeli kullanılarak rafine edildi. OH ve H atomları hesaplanan pozisyonlara dahil edildi ve sürme atomları olarak ele alındı: O—H = 0.82 Å. DFT kuantum-kimyasal hesaplamaları, B3LYP/6–311 G(d,p) seviyesinde yapılmıştır [19,9]. Bu hesaplamalar GAUSSIAN09'da uygulandığı gibi kontrol edilmiştir [18]. (I)'in DFT yapı optimizasyonu, X-ışını geometrisinden başlayarak gerçekleştirildi.

Tablo 3. Deneysel ayrıntılar

| | |
|--|---|
| Crystal data | |
| Chemical formula | C ₁₉ H ₂₀ N ₂ O ₂ |
| M_r | 308.37 |
| Crystal system, space group | Orthorhombic, <i>Pbca</i> |
| Temperature (K) | 100 |
| a, b, c (Å) | 9.5290 (16), 15.010 (3), 21.493 (4) |
| V (Å ³) | 3074.2 (9) |
| Z | 8 |
| Radiation type | Mo $K\alpha$ |
| μ (mm ⁻¹) | 0.09 |
| Crystal size (mm) | 0.20 × 0.15 × 0.10 |
| Data collection | |
| Diffractometer | BRUKER SMART APEX CCD diffractometer |
| Absorption correction | Multi-scan SADABS (Bruker, 2003) |
| T_{min}, T_{max} | 0.955, 0.988 |
| No. of measured, independent and observed [$I > 2\sigma(I)$] reflections | 29002, 2462, 1180 |
| R_{int} | 0.245 |
| $(\sin \theta/\lambda)_{max}$ (Å ⁻¹) | 0.577 |
| Refinement | |
| $R[F^2 > 2\sigma(F^2)], wR(F^2), S$ | 0.106, 0.244, 1.06 |
| No. of reflections | 2462 |
| No. of parameters | 209 |
| No. of restraints | 7 |
| H-atom treatment | H-atom parameters constrained |
| $\Delta\rho_{max}, \Delta\rho_{min}$ (e Å ⁻³) | 0.56, -0.20 |



Şekil 4. (I) için HOMO-1, HOMO, LUMO ve LUMO+1 enerji seviyelerinin elektron dağılımı.

3.6. Özel Detaylar

Geometri. Tüm e.s.d.'ler (iki l.s. düzlemi arasındaki dihedral açıdaki e.s.d. hariç) tam kovaryans matrisi kullanılarak tahmin edilir. Mesafeler, açılar ve burulma açıları cinsinden esd'lerin tahmininde hücre e.s.d.'leri ayrı ayrı dikkate alınır; hücre parametrelerindeki e.s.d.'ler arasındaki korelasyonlar, yalnızca kristal simetrisi ile tanımlandıklarında kullanılır. Hücre e.s.d.'lerinin yaklaşık (izotropik) bir işlemi, l.s.'yi içeren e.s.d.'leri tahmin etmek için kullanılır.

Tablo 4.

| | <i>x</i> | <i>y</i> | <i>z</i> | <i>U</i> _{iso} */ <i>U</i> _{eq} |
|-----|------------|------------|------------|---|
| O1 | 0.5099 (5) | 0.4274 (3) | 0.6039 (2) | 0.0450 (13) |
| O2 | 0.7935 (5) | 0.1658 (3) | 0.4203 (2) | 0.0511 (14) |
| H2 | 0.861298 | 0.136115 | 0.409280 | 0.077* |
| N1 | 0.3737 (6) | 0.6897 (3) | 0.7114 (2) | 0.0366 (14) |
| N2 | 0.6977 (6) | 0.4423 (3) | 0.5168 (2) | 0.0405 (15) |
| H2C | 0.635694 | 0.411110 | 0.536107 | 0.049* |
| C10 | 0.5177 (7) | 0.5127 (4) | 0.6127 (3) | 0.0331 (17) |
| C1 | 0.4341 (6) | 0.5551 (4) | 0.6572 (3) | 0.0247 (15) |
| C9 | 0.4474 (6) | 0.6480 (4) | 0.6660 (3) | 0.0281 (15) |
| C16 | 0.8332 (8) | 0.2521 (4) | 0.4281 (3) | 0.0404 (18) |
| C11 | 0.6127 (7) | 0.5655 (5) | 0.5758 (3) | 0.0359 (17) |
| C17 | 0.9484 (8) | 0.2872 (4) | 0.3999 (3) | 0.0424 (18) |
| H17 | 1.004033 | 0.250785 | 0.375073 | 0.051* |
| C2 | 0.3356 (7) | 0.5030 (4) | 0.6956 (3) | 0.0403 (18) |
| H2A | 0.374559 | 0.444126 | 0.702697 | 0.048* |
| H2B | 0.248064 | 0.495792 | 0.673141 | 0.048* |
| C8 | 0.5392 (7) | 0.6996 (4) | 0.6277 (3) | 0.0375 (17) |
| C13 | 0.6992 (7) | 0.5253 (5) | 0.5299 (3) | 0.0417 (18) |
| H13 | 0.760737 | 0.561765 | 0.507938 | 0.050* |
| C14 | 0.7852 (7) | 0.3942 (5) | 0.4746 (3) | 0.0416 (18) |
| C18 | 0.9846 (7) | 0.3754 (5) | 0.4075 (3) | 0.0452 (19) |
| H18 | 1.063894 | 0.398359 | 0.388031 | 0.054* |
| C15 | 0.7499 (7) | 0.3060 (4) | 0.4651 (3) | 0.0414 (18) |
| H15 | 0.669718 | 0.282619 | 0.483607 | 0.050* |
| C19 | 0.8990 (8) | 0.4306 (4) | 0.4454 (3) | 0.0437 (19) |
| H19 | 0.920003 | 0.490734 | 0.450208 | 0.052* |
| C12 | 0.6185 (8) | 0.6575 (4) | 0.5857 (3) | 0.0474 (19) |
| H12 | 0.680571 | 0.691054 | 0.561946 | 0.057* |
| C5 | 0.3674 (8) | 0.7864 (4) | 0.7168 (3) | 0.052 (2) |
| H5A | 0.346460 | 0.802602 | 0.759445 | 0.063* |
| H5B | 0.292520 | 0.808972 | 0.690578 | 0.063* |
| C6 | 0.5035 (9) | 0.8280 (4) | 0.6977 (4) | 0.063 (2) |
| H6A | 0.494810 | 0.892324 | 0.699165 | 0.076* |
| H6B | 0.576478 | 0.810504 | 0.726690 | 0.076* |
| C3 | 0.3061 (8) | 0.5461 (4) | 0.7573 (3) | 0.051 (2) |
| H3A | 0.388668 | 0.542948 | 0.783539 | 0.061* |
| H3B | 0.229991 | 0.515220 | 0.778074 | 0.061* |
| C4 | 0.2663 (8) | 0.6422 (4) | 0.7464 (3) | 0.055 (2) |
| H4A | 0.178380 | 0.644553 | 0.723727 | 0.065* |
| H4B | 0.252407 | 0.671380 | 0.786172 | 0.065* |
| C7 | 0.5438 (8) | 0.8002 (4) | 0.6340 (4) | 0.061 (2) |
| H7A | 0.637830 | 0.821299 | 0.624875 | 0.074* |
| H7B | 0.480110 | 0.826889 | 0.604084 | 0.074* |

Tablo 5. Atomik yer değiştirme parametreleri (\AA^2)

| | U_{11} | U_{22} | U_{33} | U_{12} | U_{13} | U_{23} |
|-----|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| O1 | 0.053 (3) | 0.030 (3) | 0.053 (3) | -0.005 (2) | -0.003 (3) | -0.013 (2) |
| O2 | 0.059 (3) | 0.038 (3) | 0.057 (3) | 0.011 (3) | 0.002 (3) | -0.008 (3) |
| N1 | 0.040 (3) | 0.021 (3) | 0.048 (4) | 0.004 (3) | 0.000 (3) | -0.004 (3) |
| N2 | 0.051 (4) | 0.023 (3) | 0.048 (4) | 0.005 (3) | -0.017 (3) | -0.014 (3) |
| C10 | 0.040 (4) | 0.017 (4) | 0.042 (4) | 0.008 (3) | -0.018 (4) | -0.011 (3) |
| C1 | 0.027 (3) | 0.019 (3) | 0.028 (3) | 0.004 (3) | -0.002 (3) | 0.000 (3) |
| C9 | 0.029 (4) | 0.031 (4) | 0.025 (3) | 0.009 (3) | -0.004 (3) | -0.003 (3) |
| C16 | 0.061 (5) | 0.031 (4) | 0.029 (4) | -0.004 (4) | -0.006 (4) | -0.001 (3) |
| C11 | 0.031 (4) | 0.054 (5) | 0.022 (3) | 0.001 (4) | 0.003 (3) | -0.006 (3) |
| C17 | 0.051 (5) | 0.030 (4) | 0.047 (4) | 0.013 (4) | -0.011 (4) | 0.000 (4) |
| C2 | 0.051 (5) | 0.029 (4) | 0.040 (4) | 0.005 (4) | -0.004 (4) | -0.005 (3) |
| C8 | 0.039 (4) | 0.034 (4) | 0.039 (4) | 0.007 (4) | -0.002 (4) | 0.001 (4) |
| C13 | 0.034 (4) | 0.054 (5) | 0.037 (4) | -0.006 (4) | -0.012 (3) | 0.008 (4) |
| C14 | 0.039 (4) | 0.064 (5) | 0.022 (4) | 0.011 (4) | -0.007 (4) | -0.005 (4) |
| C18 | 0.049 (5) | 0.057 (5) | 0.030 (4) | 0.003 (4) | -0.001 (4) | 0.004 (4) |
| C15 | 0.048 (4) | 0.042 (5) | 0.035 (4) | 0.019 (4) | -0.002 (4) | -0.008 (4) |
| C19 | 0.060 (5) | 0.034 (4) | 0.037 (4) | -0.003 (4) | -0.010 (4) | -0.012 (3) |
| C12 | 0.044 (5) | 0.033 (4) | 0.064 (5) | -0.003 (4) | -0.015 (4) | 0.008 (4) |
| C5 | 0.057 (5) | 0.032 (4) | 0.068 (5) | 0.009 (4) | -0.014 (5) | -0.016 (4) |
| C6 | 0.072 (6) | 0.021 (4) | 0.098 (7) | 0.011 (4) | -0.024 (5) | -0.012 (4) |
| C3 | 0.059 (5) | 0.042 (4) | 0.052 (5) | 0.012 (4) | 0.009 (4) | 0.016 (4) |
| C4 | 0.062 (5) | 0.064 (5) | 0.038 (4) | 0.023 (4) | 0.006 (4) | 0.004 (4) |
| C7 | 0.058 (5) | 0.034 (5) | 0.092 (6) | -0.006 (4) | -0.001 (5) | 0.004 (4) |

Tablo 6. Geometrik parametreler(\AA , $^\circ$)

| | | | |
|---------|-----------|---------|------------|
| O1—C10 | 1.296 (6) | C8—C12 | 1.335 (9) |
| O2—C16 | 1.360 (7) | C8—C7 | 1.518 (8) |
| O2—H2 | 0.8200 | C13—H13 | 0.9300 |
| N1—C9 | 1.356 (7) | C14—C19 | 1.367 (9) |
| N1—C4 | 1.455 (8) | C14—C15 | 1.382 (9) |
| N1—C5 | 1.458 (7) | C18—C19 | 1.420 (9) |
| N2—C13 | 1.278 (7) | C18—H18 | 0.9300 |
| N2—C14 | 1.428 (8) | C15—H15 | 0.9300 |
| N2—H2C | 0.8600 | C19—H19 | 0.9300 |
| C10—C1 | 1.398 (8) | C12—H12 | 0.9300 |
| C10—C11 | 1.441 (8) | C5—C6 | 1.497 (10) |
| C1—C9 | 1.413 (8) | C5—H5A | 0.9700 |
| C1—C2 | 1.475 (8) | C5—H5B | 0.9700 |
| C9—C8 | 1.429 (9) | C6—C7 | 1.482 (10) |

Tablo 7. Hidrojen bağı geometresi (\AA , $^\circ$)

| $D-H\cdots A$ | $D-H$ | $H\cdots A$ | $D\cdots A$ | $D-H\cdots A$ |
|-----------------------------------|-------|-------------|-------------|---------------|
| O2—H2 \cdots O1 ⁱ | 0.82 | 1.73 | 2.546 (6) | 173 |
| N2—H2C \cdots O1 | 0.86 | 1.90 | 2.599 (7) | 137 |
| C13—H13 \cdots O2 ⁱⁱ | 0.93 | 2.50 | 3.161 (8) | 128 |
| C5—H5B \cdots O2 ⁱⁱⁱ | 0.97 | 2.55 | 3.398 (9) | 146 |

Simetrik kodlamalar: (i) $x+1/2, -y+1/2, -z+1$; (ii) $-x+3/2, y+1/2, z$; (iii) $-x+1, -y+1, -z+1$.

Referanslar

- [1] Narayanaswamy, N. & Govindaraju, T. (2012). "Sens. Actuators B", Chem. 161, 304–310.
- [2] Maity, D., Manna, A. K., Karthigeyan, D., Kundu, T. K., Pati, S. K. & Govindaraju, T. (2011). "Chem. Eur. J". **17**, 11152–11161.
- [3] Noh, J. Y., Kim, S., Hwang, I. H., Lee, G. Y., Kang, J., Kim, S. H., Min, J., Park, S., Kim, C. & Kim, J. (2013). "Dyes Pigments", 99, 1016–1021.
- [4] Nano, A., Gullo, M. P., Ventura, B., Armaroli, N., Barbieri, A. & Ziessel, R. (2015). "Chem. Commun".**51**, 3351–3354.
- [5] Jo, T. G., Na, Y. J., Lee, J. J., Lee, M. M., Lee, S. Y. & Kim, C. (2015). "New J. Chem". 39, 2580–2587.
- [6] Choi, Y. W., Lee, J. J., You, G. R., Lee, S. Y. & Kim, C. (2015). "RSC Adv". **5**, 86463–86472.
- [7] Kim, Y. S., Lee, J. J., Choi, Y. W., You, G. R., Nguyen, L., Noh, I. & Kim, C. (2016). "Dyes Pigments", 129, 43–53.
- [8] Lee, S. A., You, G. R., Choi, Y. W., Jo, H. Y., Kim, A. R., Noh, I., Kim, S.-J., Kim, Y. & Kim, C. (2014). "Dalton Trans." 43, 6650–6659.
- [9] Mennucci, B., Cappelli, C., Guido, C. A., Cammi, R. & Tomasi, J. (2009). "J. Phys. Chem. A", 113, 3009–3020.
- [10] Park, G. J., Park, D. Y., Park, K.-M., Kim, Y., Kim, S.-J., Chang, P.-S. & Kim, C. (2014). "Tetrahedron", 70, 7429–7438.
- [11] Faizi, M. S. H., Ali, A. & Potaskalov, V. A. (2016). "Acta Cryst". **E72**, 1366–1369.
- [12] Faizi, M. S. H., Ahmad, M., Kapshuk, A. A. & Golenya, I. A. (2017a). "Acta Cryst". **E73**,38–40
- [13] Faizi, M. S. H., Dege, N. & Malysheva, M. L. (2017b). "Acta Cryst". **E73**, 791–794.
- [14] Na, Y. J., Hwang, I. H., Jo, H. Y., Lee, S. A., Park, G. J. & Kim, C. (2013). Inorg. "Chem. Commun". 35, 342–345.
- [15] Faizi, M. S. H., Iskenderov, T. S. & Sharkina, N. O. (2015). "Acta Cryst". **E71**, 28–30.
- [16] Kantar, E. N., Köysal, Y., Akdemir, N., Ağar, A. A. & Soylu, M. S. (2013). "Acta Cryst". **E69**,0883
- [17] Frisch, M. J., *et al.* (2009). *GAUSSIAN09*. Revision A. 02. Gaussian Inc., Wallingford, CT, USA.
- [18] Becke, A. D. (1993). "J. Chem. Phys". 98, 5648–5652.
- [19] Groom (2016). "The cabricke structural data base". Acta crystallographice B,**72**,171-179

Classification of Pistachio Images Using VGG16 and VGG19 Deep Learning Models

Emre Avuçlu ^{a,1}

^a Department of Software Engineering, Faculty of Engineering, Aksaray University, Aksaray, Turkey
ORCID ID: 0000-0002-1622-9059

Abstract

The value of the economy provided by pistachios to the countries where they are grown is increasing day by day. From this point of view, the importance of correct classification of pistachios is known. The more accurately the harvested pistachios are classified, the better the monetary return value. In this study, two different classes of pistachios were classified using VGG16 and VGG19 deep learning architectures. There are 2148 pieces of Kirmizi and Siirt Pistachio in the dataset. Experimental studies were carried out with 5-fold crossvalidation. As a result of the experimental studies, the Accuracy value of 0.802117 and the F1-measure value of 0.830593 were obtained from the average of 5 folds from the VGG16 deep learning model. Likewise, the Accuracy value of 0.779404 and the F-measure value as 0.779404 were obtained from the average of 5 folds from the VGG19 deep learning model.

Keywords: “Pistachio, deep learning, VGG16, VGG19.”

1. Introduction

In order to increase the market value of pistachios, there is a need for automatic sorting and classification. Therefore, new techniques and technologies should be used to increase the yield of the product with high economic value [1]. Different studies have been carried out in the literature on pistachios. There is more interest in Kirmizi and Siirt pistachio varieties because of their higher economic value [2]. Pistachio is grown in many countries today, and the countries where it is grown form a very common trade network. In addition, it is stated that pistachios affect health positively [3,4]. Casasent et al. reported that they achieved 88% success in determining the quality of the performed classification of pistachios products [5]. Abbaszadeh et al. in their study, a classification accuracy of 80.3% was obtained by using deep neural networks to classify pistachios [6]. Rahimzadeh and Attar reported that they achieved average classification success of 85.28%, 85.19% and 83.32%, respectively, by using CNN-based ResNet50, ResNet152 and VGG16 models to identify different peanut species [7]. Likewise, different artificial intelligence techniques have been used for different fruit classification in the literature. art. Tarek Habib et al. Studies have been carried out on the automatic detection of diseases in jack fruit. They used 9 different classification algorithms and 7 performance metrics during classification. As a result of the tests performed on a total of 480 images, they achieved the best result of 89.59% [8]. Eduardo Assunção et al. used 313 images and MobileNet-V2 network to detect diseases on peach in their study. As a result, the F1 score was 0.96 [9]. Juan et al. In this study, the usability of deep learning in characterizing cherries was investigated. In this study, the authors performed cherry detection and classification of detected cherries with Faster R-CNN and 85% accuracy was achieved [10]. Vasumathi et al. presented their approach to classify pomegranate fruits by combining two different deep learning methods in their study. There are 6519 pomegranate pictures in the dataset used in this study. The pomegranate pictures were divided into normal and abnormal, reaching an accuracy of 98.17% [11].

The aim of this study is to classify images of pistachios using deep learning models VGG16 and VGG19.

2. Material and Methods

In this study, deep learning models VGG16 and VGG19 were used for the classification of pistachios. In experimental studies, 5-fold crossvalidation was performed.

¹ Corresponding Author
E-mail Address: emreavuclu@aksaray.edu.tr

The **VGG16** architecture consists of 13 convolutions and 3 fully connected layers used to achieve better results in the ImageNet 2014 competition [12]. There are 41 layers in total, with MaxPooling, FullyConnectedLayer, ReLULayer, DropOutLayer and SoftmaxLayer layers. The image to be included in the input layer is 224x224x3. The last layer is the classification layer [13]. The architecture of the VGG16 deep learning model is shown in the Figure 1. [14].

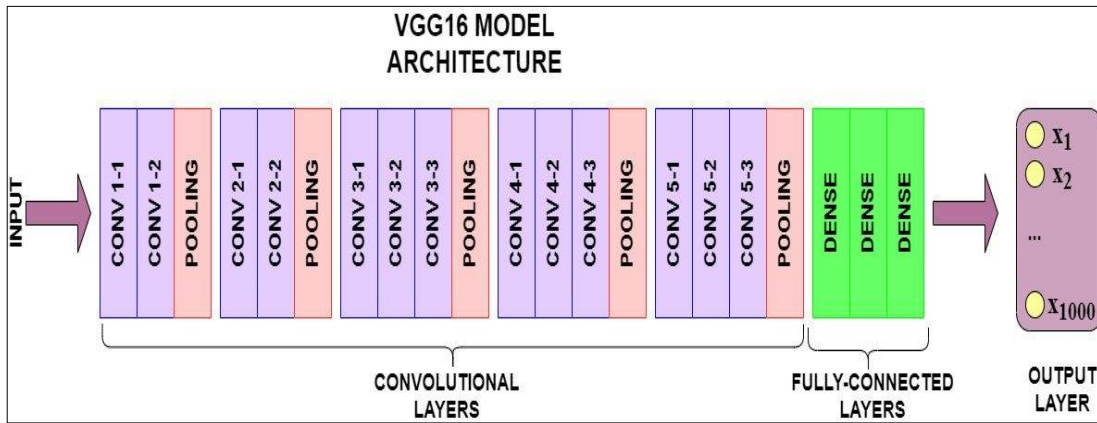


Figure 1. Structure of the VGG16 architecture

VGG19, the name of VGG19 comes from the group called “Visual Geometry Group” at Oxford University. The expression 19 indicates the number of layers. VGG19 includes 16 convolution, 3 fully connected layers, 5 MaxPools and 1 SoftMax layer [15]. The architectural structure of the VGG19 deep learning model is shown in Figure 2. [16].

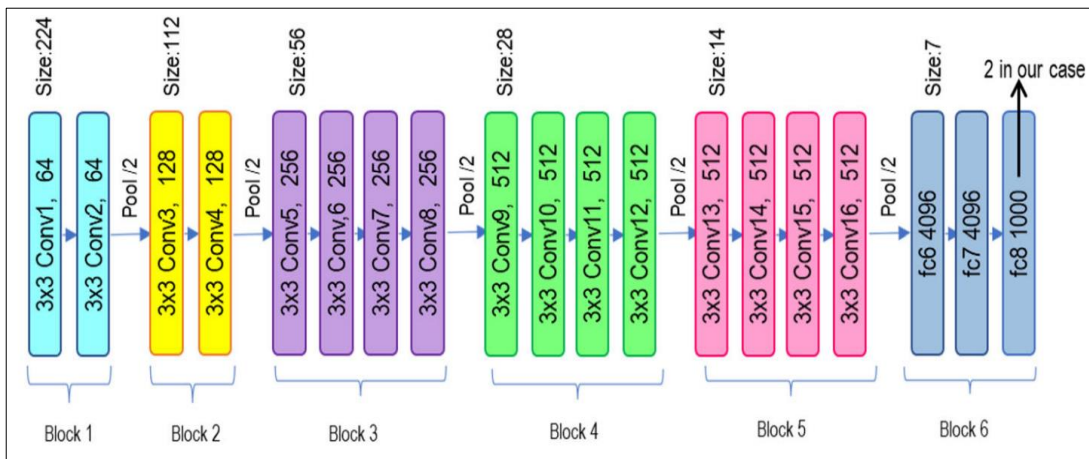
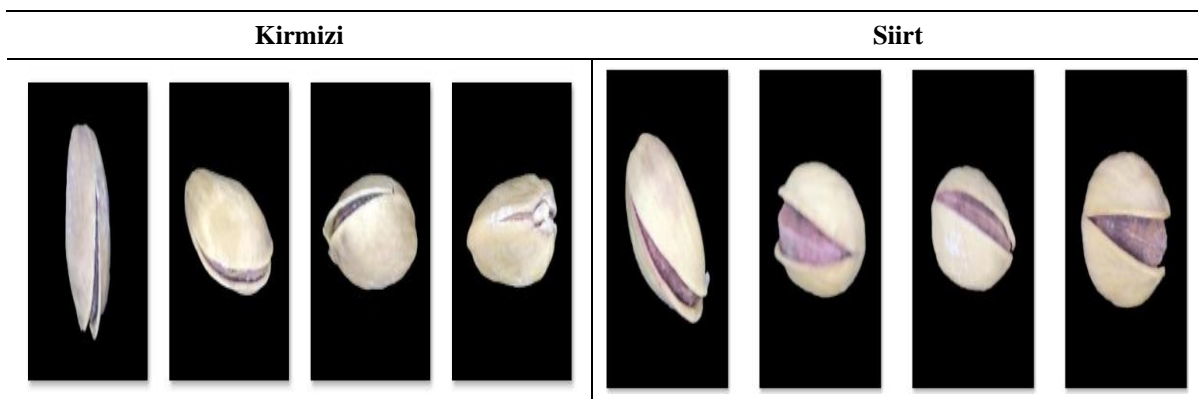


Figure 2. Structure of the VGG19 architecture

Example images of pistachio cultivars used in the database are shown in Table 1. [17, 18].

Table 1. Views of pistachio varieties

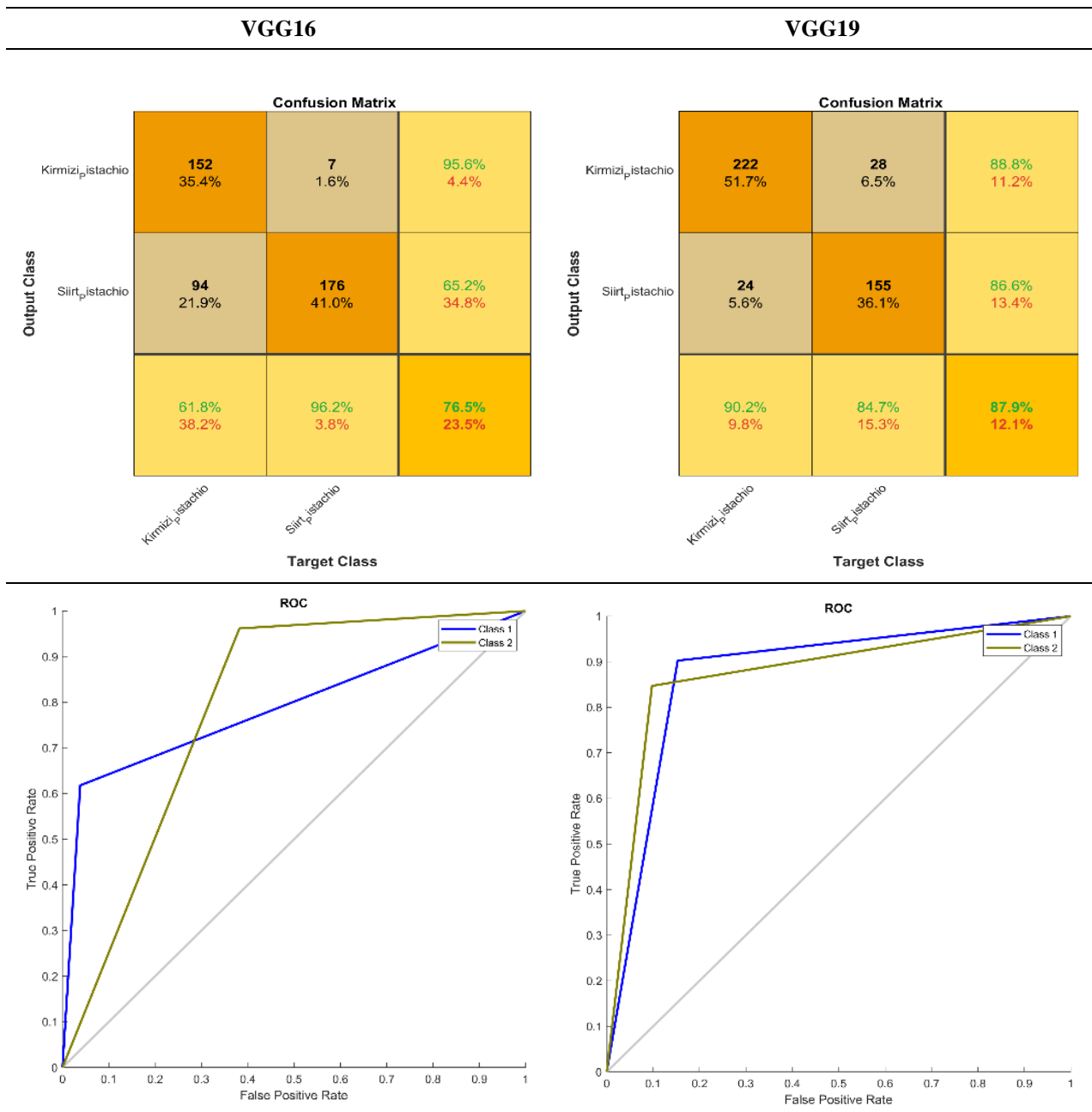


When we look at Table 1, it is seen that the shells of Siirt pistachios are more open.

3. Experimental Results and Discussions

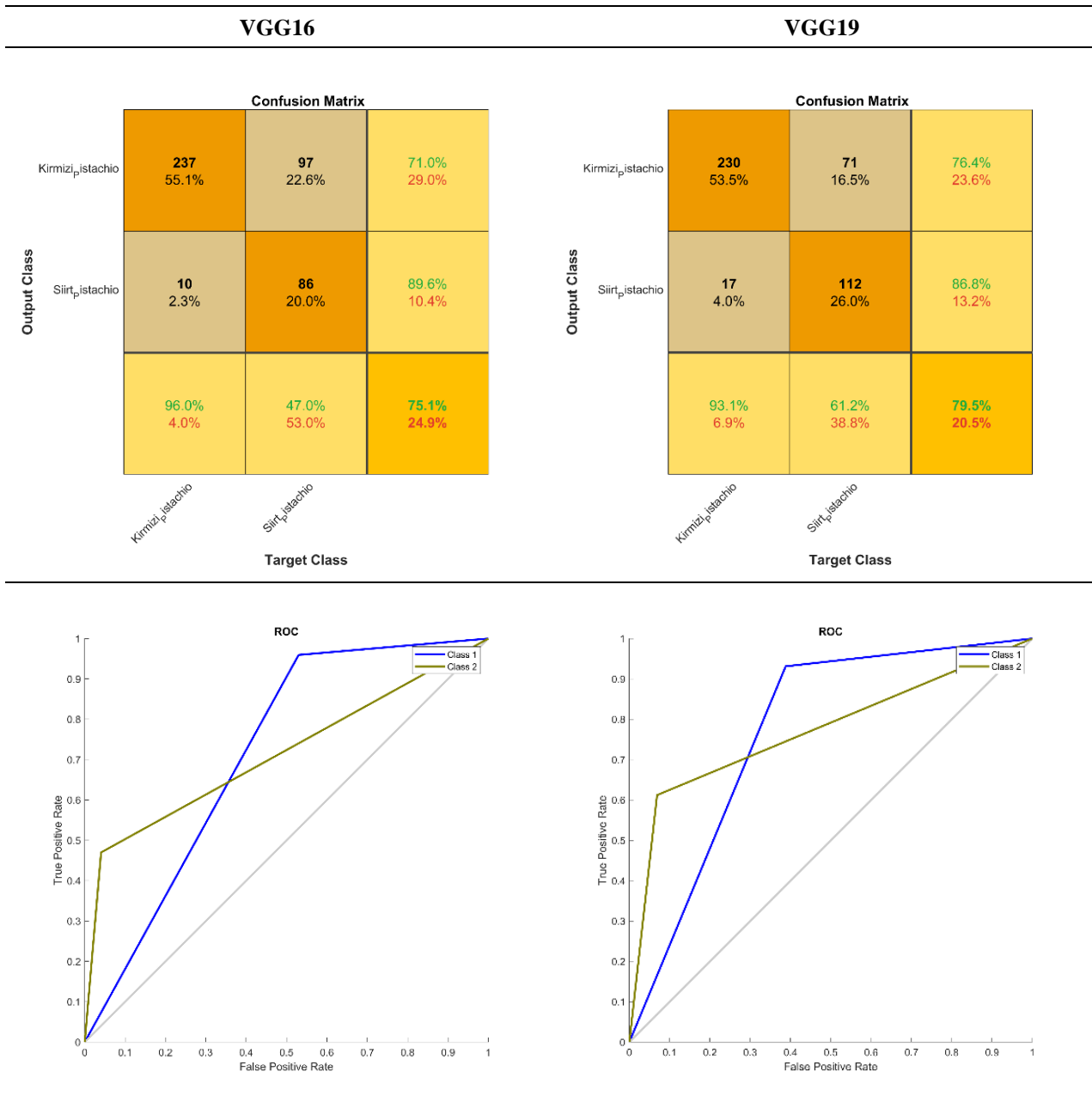
In this study, experimental studies on the database were tested statistically. CM results obtained from Fold 1 using VGG16 and VGG19 deep learning architecture are shown in Table 2.

Table 2. VGG16 and VGG19 1. Fold CM results



When we look at Table 2 for Fold 1, we see that VGG19 gives better results with a rate of 87.9%. CM results obtained from Fold 2 using VGG16 and VGG19 deep learning architecture are shown in Table 3.

Table 3. VGG16 and VGG19 2. Fold CM results



When we look at Table 3 for Fold 2, we see that VGG19 gives better results with a rate of 79.5%. CM results obtained from Fold 3 using VGG16 and VGG19 deep learning architecture are shown in Table 4.

When we look at Table 4 for Fold 3, we see that VGG16 gives better results with a rate of 85.1%. CM results obtained from Fold 4 using VGG16 and VGG19 deep learning architecture are shown in Table 5.

When we look at Table 5 for Fold 4, we see that VGG16 gives better results with a rate of 85.6%. CM results obtained from Fold 5 using VGG16 and VGG19 deep learning architecture are shown in Table 6.

When we look at Table 6 for Fold 5, we see that VGG19 gives better results with a rate of 83.9%. CM results obtained from the average of 5 folds using VGG16 deep learning architecture Table 7. was also shown.

When we examine Table 7., it is seen that the average accuracy value for 5 folds was obtained as 0.802117 for both pistachio cultivars. It is seen that the highest F-measure value was obtained from the Kirmizi pistachio variety as 0.830593.

Table 4. VGG16 and VGG19 3. Fold CM results

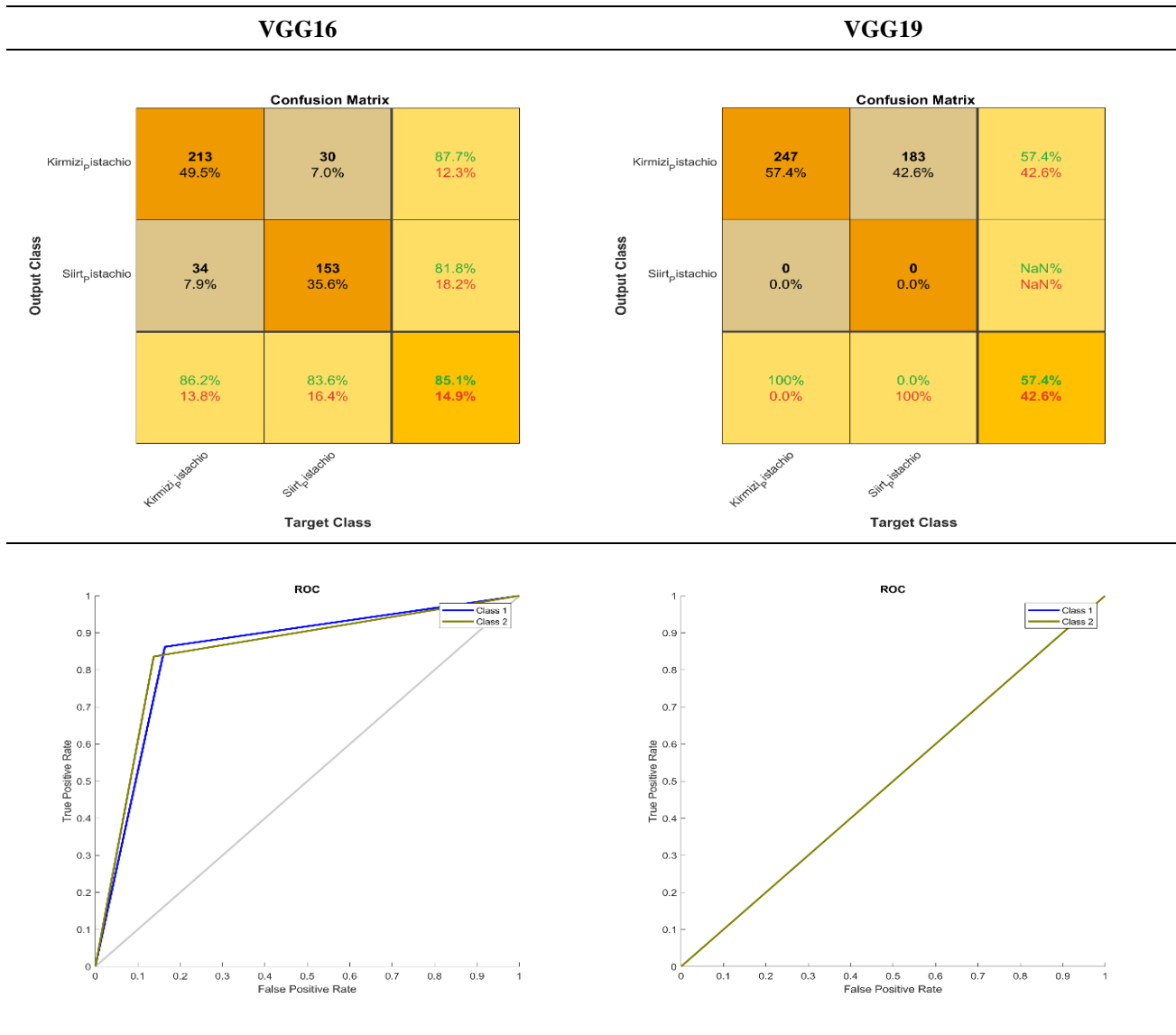


Table 5. VGG16 and VGG19 4. Fold CM results

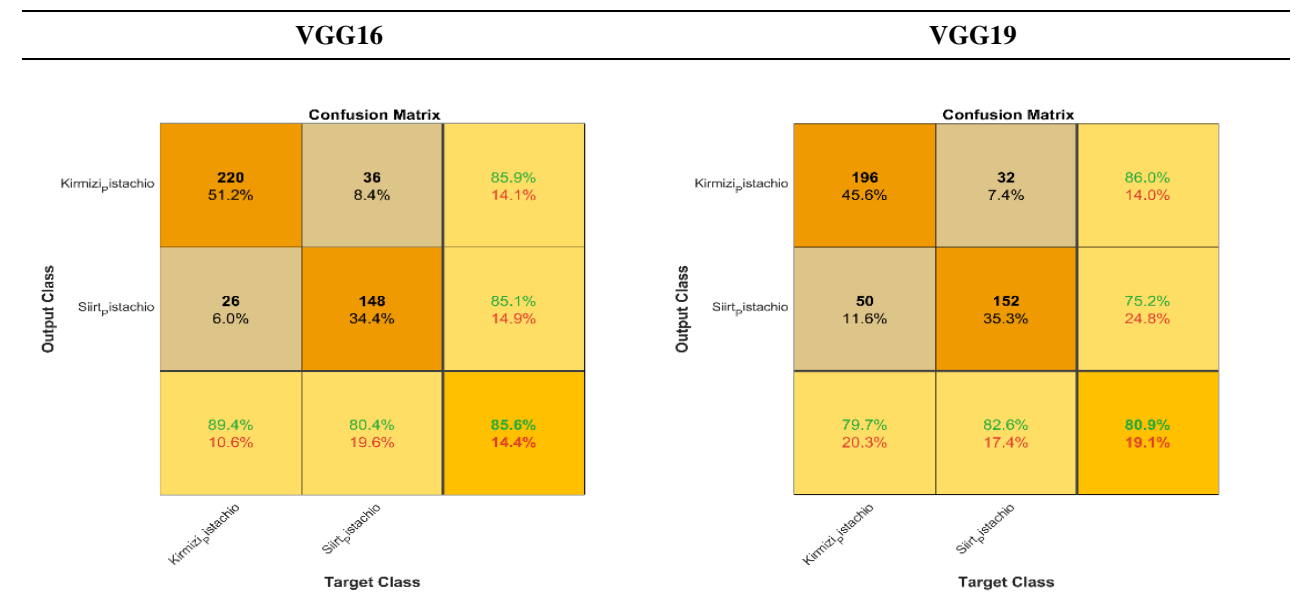


Table 5. VGG16 and VGG19 4. Fold CM results (continue)

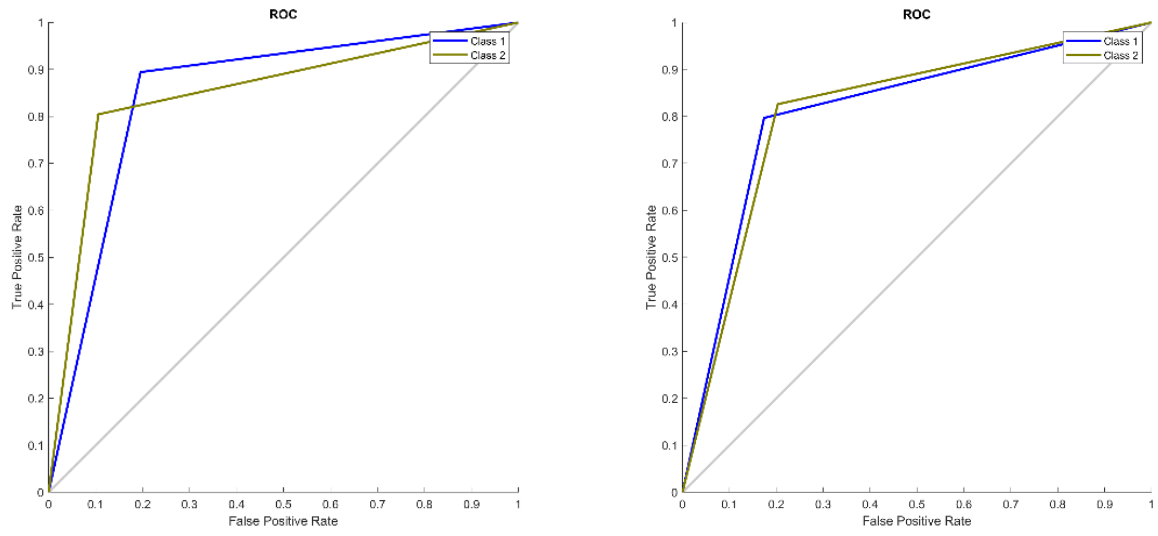


Table 6. VGG16 and VGG19 5. Fold CM results

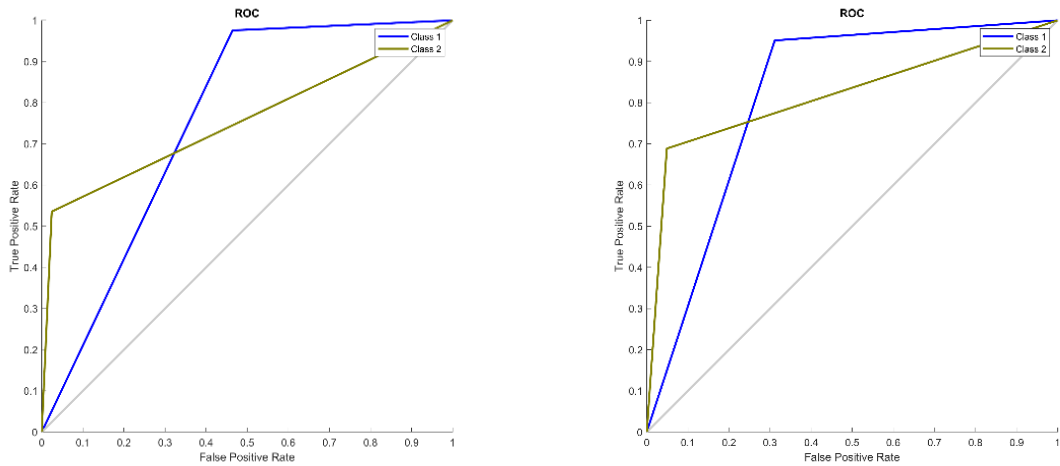
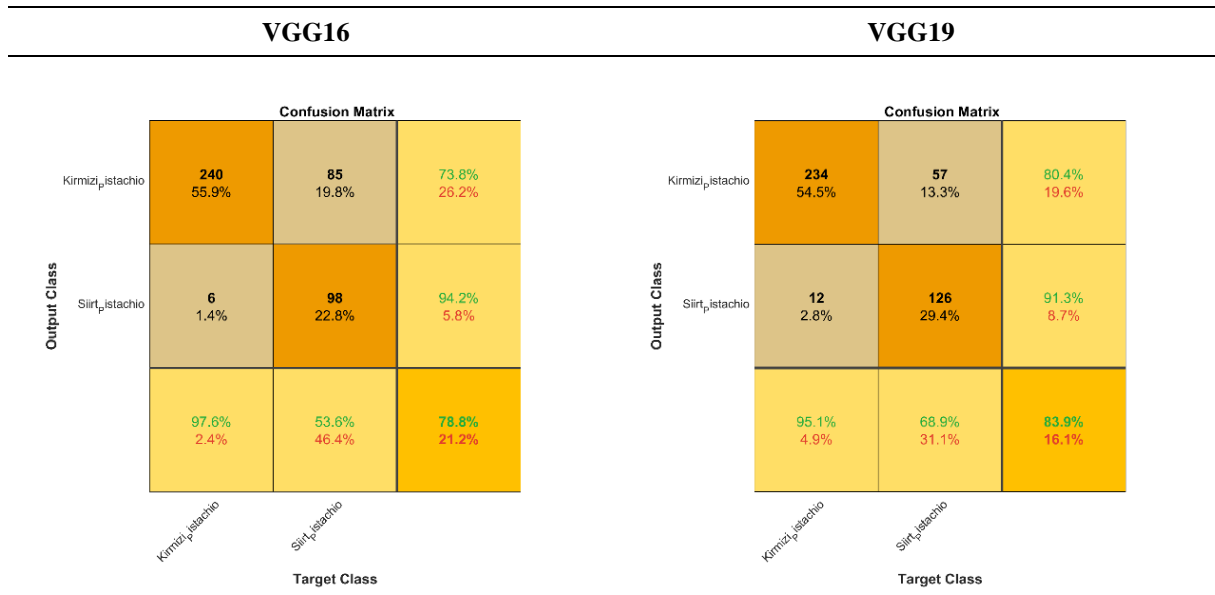


Table 7. VGG16 5 Fold AVG CM results

| | Kirmizi | Siirt |
|--------------------|----------------|--------------|
| precision | 0.827987 | 0.83175 |
| sensitivity | 0.861933 | 0.721525 |
| specificity | 0.721525 | 0.861933 |
| accuracy | 0.802117 | 0.802117 |
| F-measure | 0.830593 | 0.74606 |

Table 8. VGG19 5 Fold AVG CM results

| | Kirmizi | Siirt |
|--------------------|----------------|--------------|
| precision | 0.778062 | 0.849914 |
| sensitivity | 0.916316 | 0.594726 |
| specificity | 0.594726 | 0.916316 |
| accuracy | 0.779404 | 0.779404 |
| F-measure | 0.832556 | 0.786728 |

CM results obtained from the average of 5 folds using VGG19 deep learning architecture are shown in Table 8.

When we examine the Table 8., it is seen that the average accuracy value for 5 folds is obtained as 0.779404 for both pistachio varieties. It is seen that the highest F-measure value was obtained from the Kirmizi pistachio variety as 0.832556.

4. Conclusions and Future Works

Pistachio is a product with a specific market in different countries. Together with this market network, it appears as a food with a significant economic return. For this reason, the correct classification of pistachios will further increase the contribution to the economy. In this study, two pistachio types, called Kirmizi and Siirt, were classified using VGG16- and VGG19 deep learning models. While the sensitivity value was obtained as 0.861933 for the Kirmizi pistachio variety with the VGG16 model, it was obtained as 0.916316 for the VGG19 model. Similarly, with the VGG16 model, the specificity value was obtained as 0.861933 for the Siirt pistachio variety, while it was obtained as 0.916316 for the VGG19 model. Experimental studies can be carried out with different models in future studies. In addition, some preprocessing can be performed on images.

References

- [1] Atay Ü., The Investigation Of Classification Systems Used For Pistachio And Construction Of An Alternative Classification System, Phd Thesis Harran University, Sanliurfa, 2007.
- [2] Tunalıoğlu R, and Taşkaya B., “Antepfıstığı”. *Tarımsal Ekonomi Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 2003.
- [3] Dreher ML., “Pistachio Nuts: Composition And Potential Health Benefits”, *Nutrition Reviews*, vol. 70, no. 4, pp. 234–240, 2012
- [4] Kay Cd, Gebauer Sk, West Sg, and Kris-Etherton Pm., “Pistachios Increase Serum Antioxidants And Lower Serum Oxidized-Ldl İn Hypercholesterolemic Adults”, *The Journal Of Nutrition*, vol. 140, no. 6, pp. 1093-1098, 2010
- [5] Casasent Da, Sipe Ma, Schatzki Tf, Keagy Pm, and Lee Lc., “Neural Net Classification Of X-Ray Pistachio Nut Data”, *Lwt- Food Science And Technology*, vol. 31, no. 2, pp. 122-128, 1998
- [6] Abbaszadeh M., Rahimifard A., Eftekhari M., Zadeh H.G., Fayazi A., Dini A., and Danaeian M., Deep Learning-Based Classification Of The Defective Pistachios Via Deep Autoencoder Neural Networks., Arxiv:1906.11878, 2019.
- [7] Rahimzadeh M., Attar A., “Detecting And Counting Pistachios Based On Deep Learning”, *Iran J. Comput. Sci.*, vol. 5, pp. 69–81, 2021
- [8] Habib M. T., Mia M. J., Uddin M. S., and Ahmed F., “An In-Depth Exploration Of Automated Jackfruit Disease Recognition”, *Journal Of King Saud University - Computer And Information Sciences*. vol. 34, no. 4, pp. 1200-1209, 2022 <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2020.04.018>

- [9] Assuncao E., Diniz C., Gaspar P. D., and Proenca, H., “Decision-Making Support System For Fruit Diseases Classification Using Deep Learning”, *2020 International Conference On Decision Aid Sciences And Application (Dasa)*, 2020, <https://Doi.Org/10.1109/Dasa51403.2020.9317219>
- [10] Villacrés J. F., and Auat Cheein, F., “Detection And Characterization Of Cherries: A Deep Learning Usability Case Study In Chile”. *Agronomy*, vol. 10, no. 6, p. 835, 2020, <https://Doi.Org/10.3390/Agronomy10060835>
- [11] Vasumathi M. T., and Kamarasan M., “An Effective Pomegranate Fruit Classification Based On Cnn-Lstm Deep Learning Models”, *Indian Journal Of Science And Technology*, vol. 14, no. 16, pp. 1310–1319, 2021, <https://Doi.Org/10.17485/Ijst/V14i16.432>
- [12] Simonyan K., and Zisserman A., “Very Deep Convolutional Networks For Large-Scale Image Recognition”, 2014. Web: <https://Arxiv.Org/Abs/1409.1556>
- [13] Doğan F., and Türkoğlu İ., “Derin Öğrenme Algoritmalarının Yaprak Sınıflandırma Başarımlarının Karşılaştırılması”, *Sakarya University Journal Of Computer And Information Sciences*, vol. 1, pp. 10–21, 2018.
- [14] Web Site, Hands-On Transfer Learning With Keras And The Vgg16 Model, <https://www.larndatasci.com/tutorials/hands-on-transfer-learning-keras/>, Accessed Date: 12.12.2022
- [15] Web Site, Vgg-19 Transfer Learning İle Görüntü Sınıflandırma, <https://yazilimkaravani.net/vgg19-transfer-learning-ile-goruntu-siniflandirma/>, Accessed Date: 12.12.2022.
- [16] Khattar A., and Quadri S.M.K., “Generalization Of Convolutional Network To Domain Adaptation Network For Classification Of Disaster Images On Twitter”. *Multimed Tools Appl*, vol. 81, pp. 30437–30464, 2022, <https://Doi.Org/10.1007/S11042-022-12869-1>
- [17] Singh D, Taspınar Ys, Kursun R, Cınar I, Koklu M, Ozkan Ia, and Lee H-N., “Classification And Analysis Of Pistachio Species With Pre-Trained Deep Learning Models”, *Electronics*, vol. 11, no. 7, p. 981, 2022, <https://Doi.Org/10.3390/Electronics11070981>. (Open Access), Doi: <https://Doi.Org/10.3390/Electronics11070981>
- [18] Ozkan IA., Koklu M. and Saracoglu R., “Classification Of Pistachio Species Using Improved K-Nn Classifier”. *Progress In Nutrition*, vol. 23, no. 2, 2021, <https://Doi.Org/10.23751/Pn.V23i2.9686>. (Open Access), Doi: <https://Doi.Org/10.23751/Pn.V23i2.9686>

Estimation of Young's Modulus of Limestones using Multi-Layer Perceptron

Ebru Efeoğlu^{a,1}

^a Department of Software Engineering, Engineering Faculty, Kütahya Dumlupınar University, Kütahya, Turkey
ORCID ID: 0000-0001-5444-6647

Abstract

The Young's modulus (E) is a very important parameter used in many engineering projects and in the petroleum industry. It is especially important for tunneling, mining and rock slope stability analysis. This parameter is determined by difficult experiments. In addition, cores must be taken for the experiment and the cores taken must be of high quality. The aim of the study is to estimate the Young's modulus, which represents the basic mechanical property of rocks, using relatively easy-to-apply and low-cost methods. For this purpose, the multi-layer perception method was used. Input parameters of these meshes are Dry density, Water saturated density, Bulk density, Porosity, Water absorption, Ultrasound Pulse Velocity (UPV), Poisson ratio (ν), Tensile strength (T_o), The uniaxial compressive strength (UCS) and The point load index (Is)'. Four different network models were created and the successes of these network models were compared using the 5-fold cross-validation method. As a result of the comparison, it was understood that the model 2 network was more successful. The Correlation coefficient values of the model were calculated as 95% in training and 84% in 5-fold cross validation.

Keywords: "Artificial intelligence, multi-layer perceptron (MLP), Young's modulus, limestone, Spearman's rho, Kendall's Tau."

1. Introduction

Young's modulus (E), an important parameter for many engineering studies, reflects the hardness of rock materials. When a stress is applied to the rocks, deformation occurs in the rocks. This value is the ratio of this stress to the resulting deformation. The greater the value of the E value, the harder it is for the rocks to deform. Due to the difficulty of determining this parameter, limited budget and resources, researchers have searched for indirect methods to determine this parameter. In this study, some parameters of limestone collected from different regions of Turkey were used for the estimation of the E [1]. These parameters are Dry density, Water saturated density, Bulk density, Porosity, Is, Water absorption, UPV, Poisson ratio (ν), tensile strength (T_o), and UCS. UPV determination method is a cheap, easy and reliable method. For this reason, it is often used to evaluate the mechanical properties of rocks. Another important parameter used in determining the mechanical properties of rocks is UCS. This parameter is widely used in engineering designs. It is a destructive method. In studies with the estimation of the mechanical properties of rocks, the UCS value has generally been estimated. For example, multivariate regression and LS-SVM methods [2], ANN method [3], PSO based artificial neural network (ANN) approach were used for UCS estimation [4]. UCS and E of intact sedimentary rocks using UPV were estimated using the least squares regression method [5]. Machine learning algorithms were used to estimate the E using the physical properties of rocks [6]. Least squares support vector machine based models were used to estimate the E of weak rocks [6]. The compressive strength of carbonate rocks was estimated [8]. M5P algorithm, which is one of the decision tree algorithms, was used to estimate the UCS value and the E of carbonate rocks. Schmidt hammer, porosity, dry unit weight and slake durability index were used as input variables to the algorithm [9]. Genetic algorithm was used for estimation of E [10]. The relationship of carbonate rocks with UCS value, density, E was investigated [11]. ANFIS and ICA methods were used to estimate the E of granite [12]. The unconfined compressive strength value and E values were estimated from the petrophysical properties of the carbonate rocks. Limestone, dolomite and chalk presented equations to estimate the Young's modulus (E) [13]. An XGBoost regression model was developed to estimate the E of sedimentary rocks [14]. In addition, linear-nonlinear regression analysis methods were used to estimate the E of thermally treated sedimentary rocks [15]. Deformation properties of charcoal were estimated by ANN and adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) method.

UCS, τ , shear strength and P wave velocity [16] were used as input parameters to the mesh. The estimation of UCS and E for travertine samples was made using the XGBoost algorithm [17]. Machine learning techniques were used to estimate the E of limestones [18]. Sawability of carbonate rocks was predicted from shear strength parameters with ANN [19]. Estimation of rock

¹ Corresponding Author
E-mail Address: ebru.efeoğlu@dpu.edu.tr

properties using acoustic frequencies [20], rock fragmentation was estimated [21]. Machine learning based short term load forecasting was made in commercial buildings [22].

In this study, the Multi-Layer Perceptron (MLP) technique was used to estimate the Young modulus of limestones. To identify the network that made the most successful prediction, 4 different network models were created. Their prediction results were compared. Features used in the study are Dry density, Water saturated density, Bulk density, Porosity, Water absorption, Ultrasound Pulse Velocity (UPV), Poisson ratio (ν), Tensile strength (T_o), The uniaxial compressive strength (UCS) and The point load index (Is). The histograms of the features in the data set used are given in Figure 1. Here, the vertical axis represents the frequency. Statistical parameters of the features were calculated and given in Table 1.

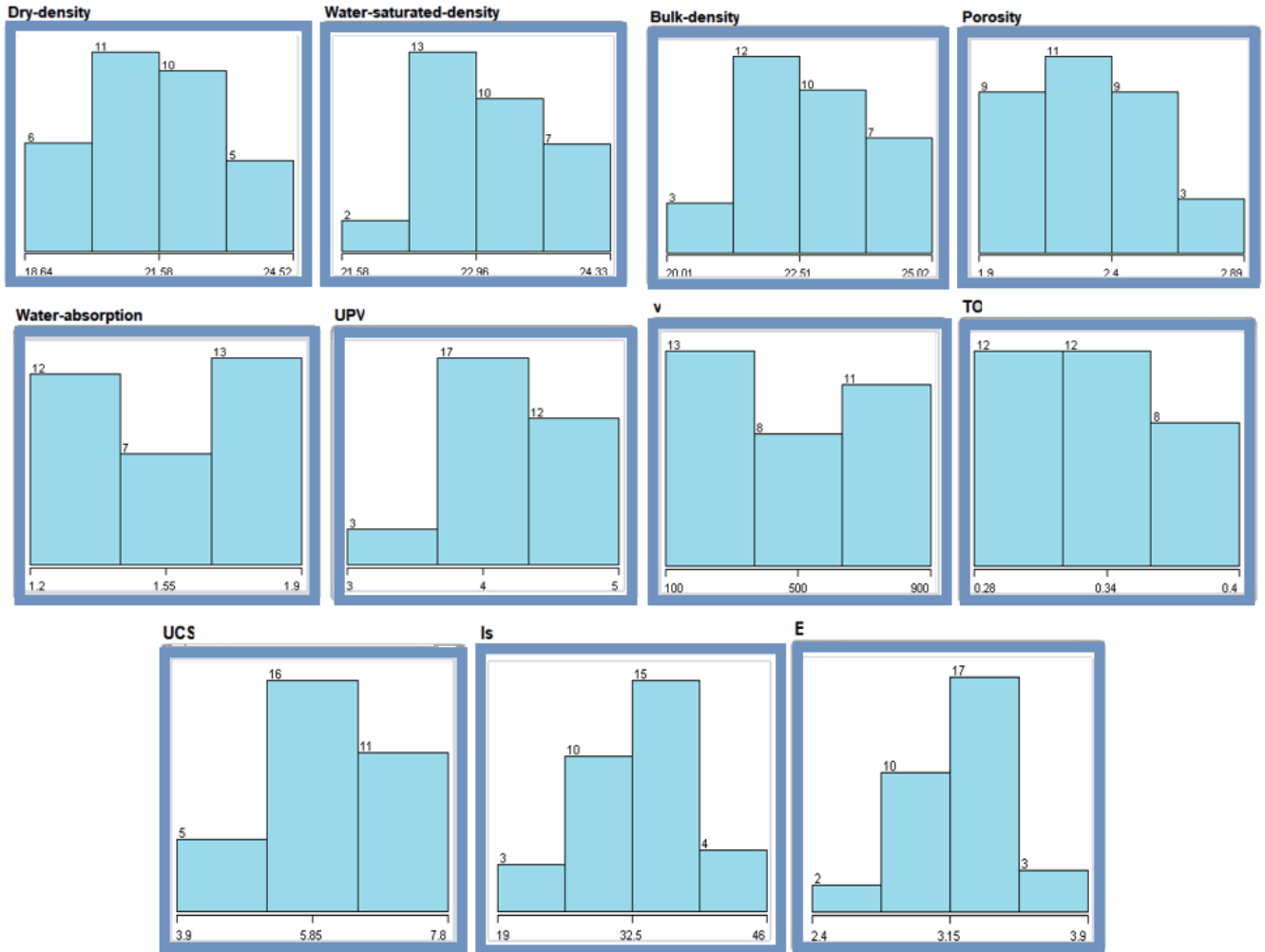


Fig 1. Histogram of the features

Table 1. Statistical parameters of the features

| Features | Min | Max | Mean | StdDev |
|-------------------------|--------|--------|---------|---------|
| Dry- density | 18.639 | 24.525 | 21.751 | 1.509 |
| Water-saturated-density | 21.582 | 24.329 | 23.078 | 0.667 |
| Bulk-density | 20.012 | 25.016 | 22.771 | 1.186 |
| Porosity | 1.9 | 2.89 | 2.313 | 0.236 |
| Water-absorption | 1.2 | 1.9 | 1.569 | 0.202 |
| UPV | 3478 | 5865 | 4766.25 | 556.212 |
| V | 0.28 | 0.4 | 0.339 | 0.033 |
| To | 3.9 | 7.8 | 6.15 | 1.099 |
| UCS | 19 | 46 | 33.156 | 6.248 |
| Is | 2.4 | 3.9 | 3.201 | 0.326 |
| E | 38.32 | 69.14 | 57.198 | 7.071 |

According to the table, the E varies between 38.32 and 69.14. The mean E value in the measurement data is 57.198 and the standard deviation is 7.071.

2. Materyal and Method

2.1. Multi-Layer Perceptron (MLP)

Multilayer perceptron model is used in case of non-linear relationships between inputs and outputs of ANN. MLP is a widely used ANN technique. This technique has a wide range of applications [21]. MLP's network consists of three layers. The network structure is given in Fig 2.

Input layer: ANN has inputs in this layer. There is no restriction on the number of entries. There is no information processing here. The information is sent to the next layer. Each process element in the input layer is connected to the process element in the next layer.

Hidden layer: Incoming information in this layer is processed and sent to the next layer. In an MLP network, there can be more than one middleware and more than one process element in each layer. Each process element in the middle layer is connected to the process element in the next layer.

Output layer: Here, it processes the information from the middleware and determines the outputs produced by the network in response to the inputs given to the network from the input layer. There can be more than one process element in this layer. Each process element is dependent on all the process elements in the previous layer. Each process element has only one output.

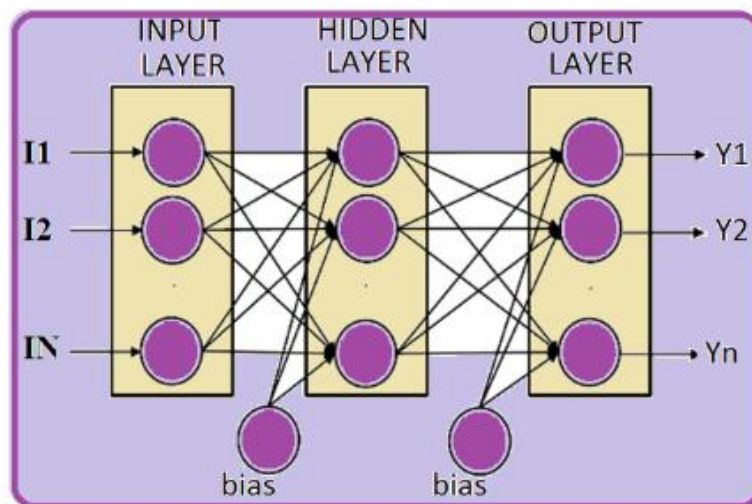


Fig. 2. MLP network

3. Results

In the study, 4 different network models were created for the estimation of the E. The same input parameters were used in all models. The first model consists of 1 hidden layer. There are 5 neurons in this layer. Model 2 has 2 hidden layers. There are 4 neurons in the first layer and 1 neuron in the second layer. Model-3 also has 2 hidden layers. There are 3 neurons in the first layer and 1 neuron in the second layer. Model 4 has 2 hidden layers. There are 2 neurons in the first layer and 1 neuron in the second layer.

The network models used, the inputs and outputs of the models, and the metrics used to compare their performance are given together. (Fig 3, Fig 4, Fig 5, Fig 6). In order to compare the models, Kendall' Tau, Spearman's rho, Correlation coefficient (R^2) and various error metrics used in the calculation of error values were calculated with weka. Kendall Tau identifies relationships between binary and ordinal scale data. If the Kendall's Tau coefficient is greater than 0.5, a high correlation is considered to exist. Kendall's Tau coefficient of all used models is higher than 0.5. But When this value is used in model 4, higher values were obtained than other models. The R^2 value is a value between -1 and +1. If R^2 is calculated as +1, there is a strong positive relationship between the two variables. If it is calculated as -1, there is a strong negative relationship. As this value approaches 0, the strength of the relationship weakens. This value was close to 1 in all networks. The highest values were obtained in Model 2

and Model 4. The highest value of R^2 is 0.95 in training and 0.84 in cross validation. In calculating the Spearman Rank Correlation Coefficient, the observation values are first ordered from the largest to the smallest or from the smallest to the largest, and a sequence number is given according to this order. If the Spearman Rank Correlation Coefficient is between 0.90 and 1, it means that there is a very strong relationship. The highest value was obtained when model 4 was used.

When the figures are examined, it is seen that the Spearman's rho, Kendall's Tau and R^2 of the model-4 are higher than the other models in both training and cross validation. In addition, the error metric values of this model are lower than other models. For this reason, it is appropriate to use the mesh structure created in Model-4 in estimating the Young's modulus.

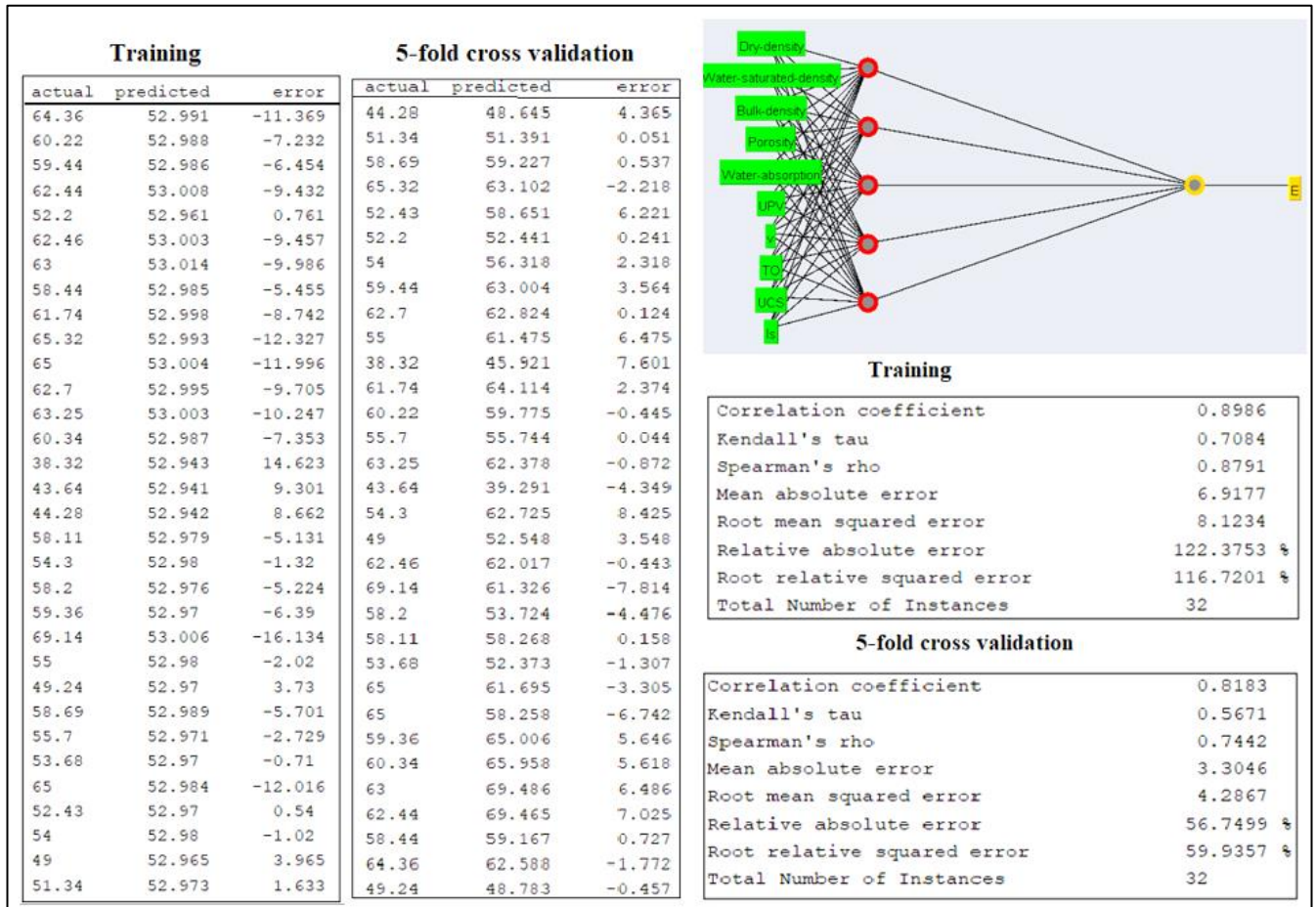


Fig. 3. Model-1 MLP network and its outputs

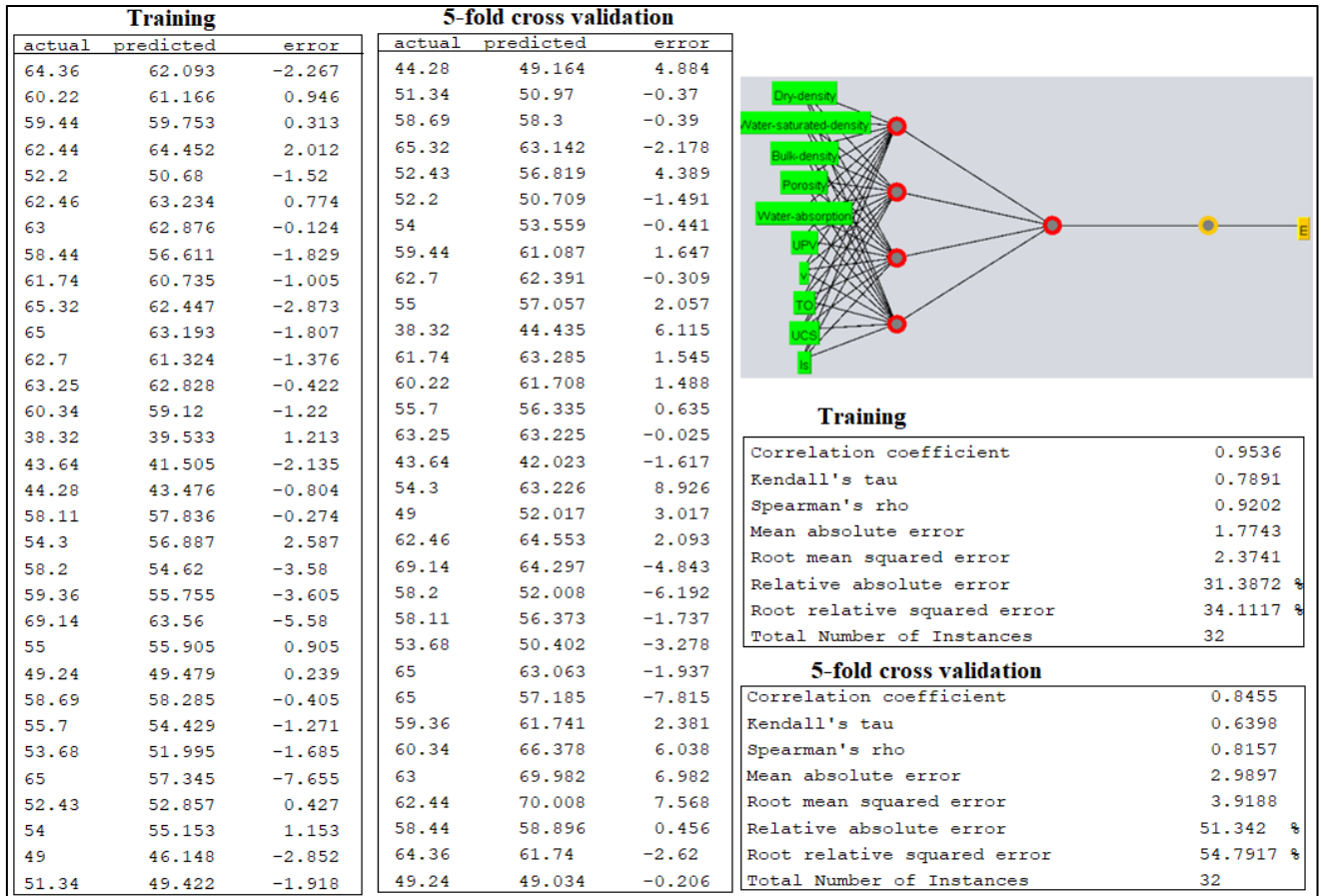


Fig 4. Model-2 MLP network and its outputs

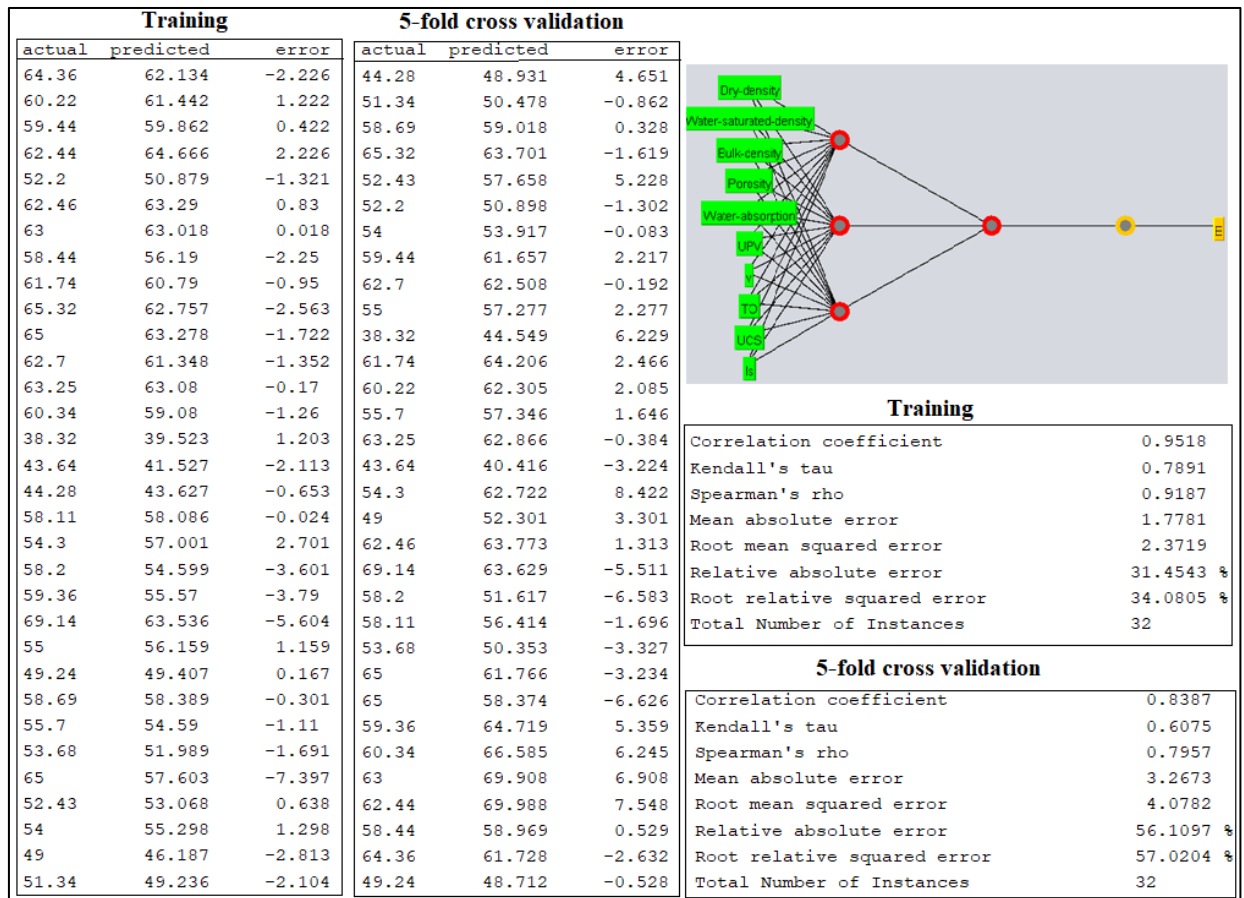


Fig 5. Model-3 MLP network and its outputs

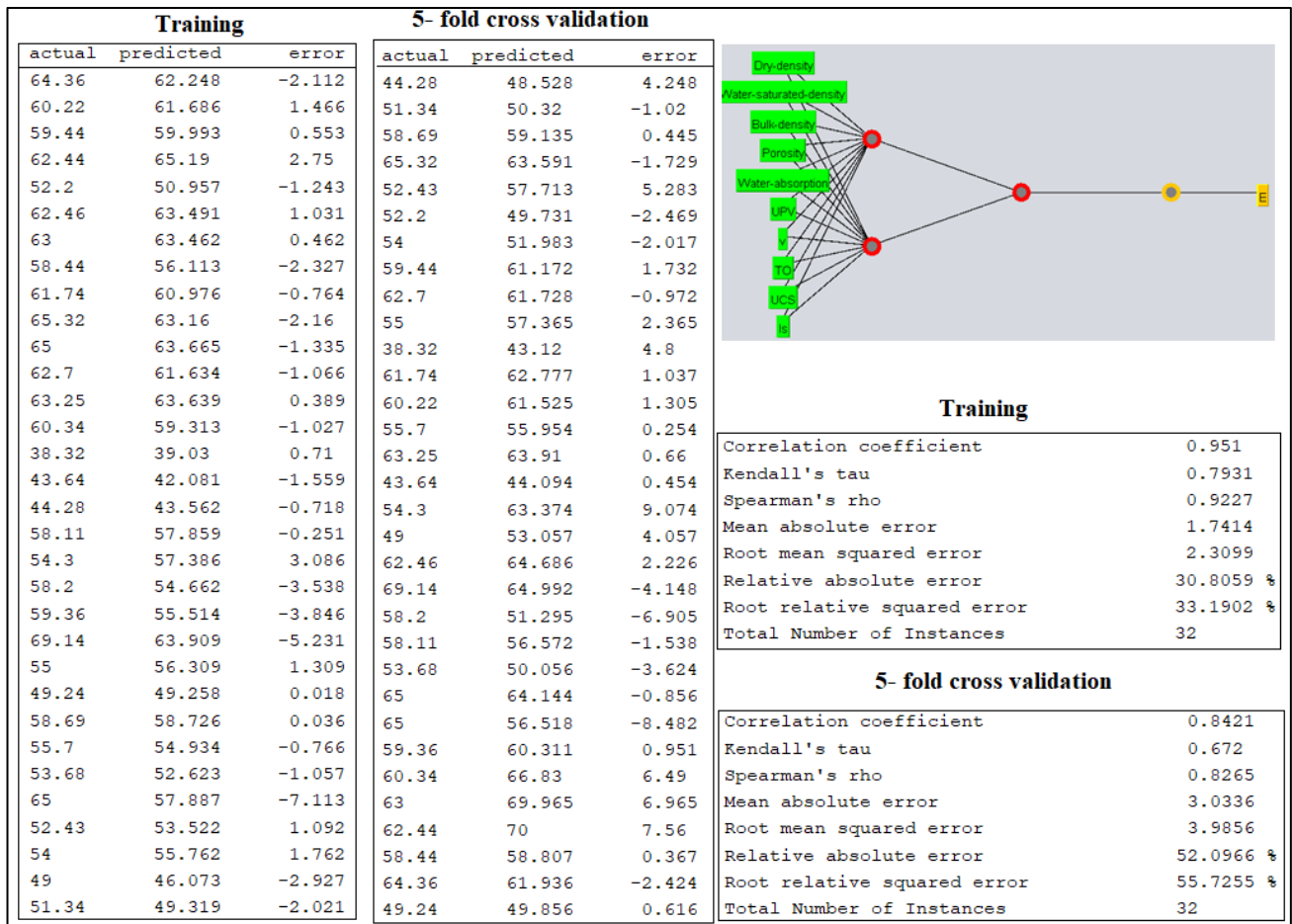


Fig 6. Model-4 MLP network and its outputs

References

- [1] Kurtulus, C., Cakir, S., & Yoğurtcuoğlu, A.C. "Ultrasound Study of Limestone Rock Physical and Mechanical Properties". *Soil Mechanics & Foundation Engineering*, 52(6), 2016.
- [2] Çelik SB. "Prediction of uniaxial compressive strength of carbonate rocks from nondestructive tests using multivariate regression and LS-SVM methods". *Arab J Geosci* 2019;12:193. <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4307-2>.
- [3] Ferentinou M, Fakir M. "An ANN Approach for the Prediction of Uniaxial Compressive Strength, of Some Sedimentary and Igneous Rocks in Eastern KwaZulu-Natal". *Symposium of the International Society for Rock Mechanics 2017*, 191:1117–25. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.05.286>.
- [4] Mohamad ET, Jahed Armaghani D, Momeni E, Alavi Nezhad Khalil Abad SV. "Prediction of the unconfined compressive strength of soft rocks: a PSO-based ANN approach". *Bull Eng Geol Environ* 2015;74:745–57.
- [5] Z.A. Moradian, M. Behnia, "Predicting the uniaxial compressive strength and static Young's modulus of intact sedimentary rocks using the ultrasonic test". *Int. J. Geomech.* 9 (1(14)) 1532–3641, 2009.
- [6] Khan, N. M., Cao, K., Yuan, Q., Bin Mohd Hashim, M. H., Rehman, H., Hussain, S., ... & Khan, S. "Application of machine learning and multivariate statistics to predict uniaxial compressive strength and static Young's modulus using physical properties under different thermal conditions". *Sustainability*, 14(16), 9901,2022.
- [7] Acar, M. C., & Kaya, B. "Models to estimate the elastic modulus of weak rocks based on least square support vector machine". *Arabian Journal of Geosciences*, 13(14), 590, 2020.
- [8] Madhubabu, N., Singh, P. K., Kainthola, A., Mahanta, B., Tripathy, A., & Singh, T. N. "Prediction of compressive strength and elastic modulus of carbonate rocks". *Measurement*, 88, 202-213, 2016.

- [9] Ghasemi, E., Kalhori, H., Bagherpour, R., & Yagiz, S. "Model tree approach for predicting uniaxial compressive strength and Young's modulus of carbonate rocks". *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 77, 331-343., 2018.
- [10] E. Yasar, Y. Erdogan, "Correlating sound velocity with the density, compressive strength and Young's modulus of carbonate rocks". *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 41 871, 2004.
- [9] Beiki, M., Majidi, A., Givshad, A.D., "Application of genetic programming to predict the uniaxial compressive strength and elastic modulus of carbonate rocks". *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 63, 159e169., 2013
- [11] Armaghani, D.J., Tonnizam Mohamad, E., Momeni, E., Monjezi, M., Narayanasamy, M.S., 2016. "Prediction of the strength and elasticity modulus of granite through an expert artificial neural network". *Arabian Journal of Geosciences* 9 (48), 1e16
- [12] Hadi, F., & Nygaard, R. Estimating unconfined compressive strength and Young's modulus of carbonate rocks from petrophysical properties. *Petroleum Science and Technology*, 41(13), 1367-1389,2023.
- [13] Shahani, N. M., Zheng, X., Liu, C., Hassan, F. U., & Li, P. "Developing an XGBoost regression model for predicting young's modulus of intact sedimentary rocks for the stability of surface and subsurface structures". *Frontiers in Earth Science*, 9, 761990, 2021.
- [14] Waqas, U., & Ahmed, M. F. "Prediction modeling for the estimation of dynamic elastic Young's modulus of thermally treated sedimentary rocks using linear–nonlinear regression analysis, regularization, and ANFIS". *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 53, 5411-5428, 2020.
- [15] Roy, D. G., & Singh, T. N. "Predicting deformational properties of Indian coal: Soft computing and regression analysis approach". *Measurement*, 149, 106975, 2020.
- [16] Nasiri, H., Homafar, A., & Chelgani, S. C. "Prediction of uniaxial compressive strength and modulus of elasticity for Travertine samples using an explainable artificial intelligence". *Results in Geophysical Sciences*, 8, 100034, 2021.
- [17] Mahmoud, A. A., Elkatatny, S., & Al Shehri, D. "Application of machine learning in evaluation of the static young's modulus for sandstone formations". *Sustainability*, 12(5), 1880, 2020.
- [18] Kahraman, S. A. İ. R., Altun, H., Tezekici, B. S., & Fener, M. "Sawability prediction of carbonate rocks from shear strength parameters using artificial neural networks". *International journal of rock mechanics and mining sciences*, 43(1), 157-164, 2006.
- [19] Kumar, C. V., Vardhan, H., & Murthy, C. S. "Artificial neural network for prediction of rock properties using acoustic frequencies recorded during rock drilling operations". *Modeling Earth Systems and Environment*, 8(1), 141-161, 2022.
- [20] Ebrahimi, E., Monjezi, M., Khalesi, M. R., & Armaghani, D. J. "Prediction and optimization of back-break and rock fragmentation using an artificial neural network and a bee colony algorithm". *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 75, 27-36, 2016.
- [21] Lu, S., Koopialipoor, M., Asteris, P. G., Bahri, M., & Armaghani, D. J. "A novel feature selection approach based on tree models for evaluating the punching shear capacity of steel fiber-reinforced concrete flat slabs". *Materials*, 13(17), 3902., 2020.
- [22] Erten, M.Y., İnanç, N.. "Machine Learning Based Short Term Load Estimation in Commercial Buildings". *ISVOS*. 5:171–181, 2021.

Examining The Effect of Pre-processed Covid-19 Images On Classification Performance Using Deep Learning Method

Emre Avuçlu ^{a,1}

^a Department of Software Engineering, Faculty of Engineering, Aksaray University, Aksaray, Turkey
ORCID ID: 0000-0002-1622-9059

Abstract

In recent years, researchers have been using different artificial intelligence models to process x-ray images and make a determination about the patient's condition. Pre-processing is applied to medical images by many researchers. In this way, researchers know that the results they will obtain will be better and that their study results will be more accepted in the literature. As with all other medical images, pre-processing of Covid-19 images is generally done to obtain better classification results. In this study, some pre-processing was done with Covid-19 images. Experimental studies were performed using the ResNet18 deep learning model. According to experimental studies carried out on non pre-processed images, an average accuracy of 0.85206% was obtained in the test processes, while an accuracy rate of 0.93086% was obtained in the test processes obtained from pre-processed images. It was observed that better results were obtained by processing pre-processed images with the same model.

Keywords: "Covid-19, deep learning, image pre-processing."

1. Introduction

Today, studies in the field of artificial intelligence continue to appear very quickly and decisively in different areas all over the world. The development of modern technologies such as deep learning helps radiologists automatically detect lung diseases from x-ray images [1]. Ways to detect Covid-19 are clinical symptom examination, pathology tests, and lung x-ray [2]. In the automatic classification study, the data set was divided into two according to the principle of 80% training and 20% testing. In the study, results ranging from 0.81 to 0.83 were obtained for sensitivity and F-1 score parameters [3]. In a different study, Covid-19 classification was made from deep learning-based X-Ray images. Using three classes, an accuracy value of 98.3% was achieved [4]. In the classification study carried out by Ouyang et al. with the ResNet-34 architecture, CT images were used, including Covid-19 and non-Covid-19. The study was carried out according to the five-fold cross-validation procedure. As a result of the experiments, the accuracy parameter was obtained as 0.875 [5]. In the automatic classification study conducted by Jaiswal et al., experiments were carried out according to 68% training, 17% validation and 15% test separation. As a result of the experiments, the accuracy parameter was calculated between 0.90 and 0.96 [6]. Wang et al. proposed a model with high architectural diversity and long-range selective connections, which they called Covid-Net [7]. Albahli et al. reached a success rate of 92% in their study based on enhanced DenseNet [8]. In a different study, the accuracy parameter was calculated as 0.99 and the F-1 score parameter was calculated as 0.98 [9]. In the study conducted by Liang et al., the sensitivity parameter was 0.99 and the accuracy parameter was 0.98 [10]. Different deep learning architectures were used in the classification study carried out by Alshazly et al. As a result of the experiments, the accuracy parameter was calculated between 0.92 and 0.99 [11]. In the Covid-19 and not Covid-19 classification study, the experiments were determined as 85% training, 5% verification and 10% testing rate. As a result of the experiments, the accuracy parameter was calculated as 0.97 [12]. Different methods were proposed in the literature to obtain the best results using different deep learning and machine learning models [13-16].

In this study, Covid-19 detection was performed using ResNet18 architectures. The aim of this study was to examine the performance of the images to be given as input to deep learning models after pre-processing. The statistical results obtained were given and explained in detail in the experimental studies section.

¹ Corresponding Author
E-mail Address: emreavucclu@aksaray.edu.tr

2. Material and Methods

In this study, ResNet18 architecture was used as the deep learning model. Experimental results were compared statistically with Confusion Matrix (CM). The images in the database and their state after pre-processing were shown. ResNet architecture is a type of neural network proposed by He and colleagues in their article “Deep Residual Learning for Image Recognition” to facilitate the training of significantly deeper networks [17]. x is the residual connection to the straight line that carries the layer input to the summation process. Jump links can jump between different layers. Residual block inputs can propagate more quickly over remaining connections between layers. Before connection, our input ‘ x ’ is multiplied by the weights of the layer and a bias term is added. It then passes through the activation function $f()$ and the output is determined as $H(x)$. [18]. The residual learning block structure is shown in Figure 1 [17].

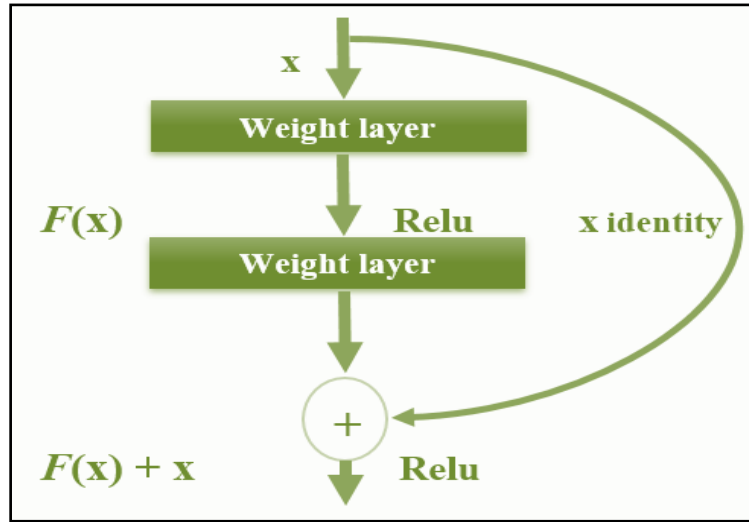


Figure 1. Residual learning block structure

Confusion Matrix; It is used as a benchmark to evaluate the performance of deep learning models in solving classification problems. This matrix is an $N \times N$ matrix that tells us the number of correct and incorrect predictions made by the deep learning model compared to the actual results in the data.

Images belonging to three different classes in the database used in this study are shown in Table 1 [19].

Table 1. Images in the database

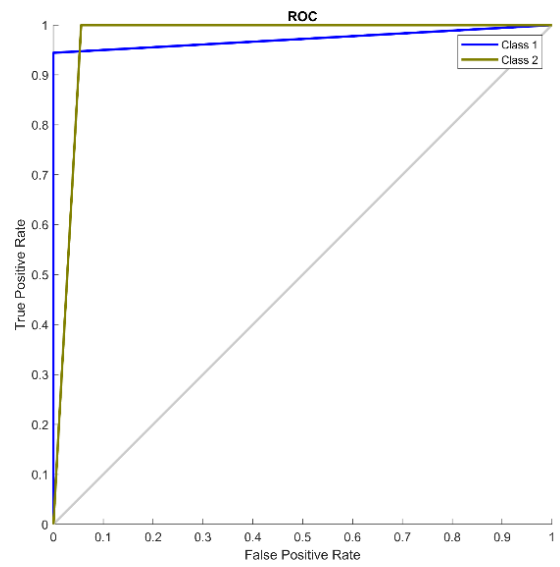
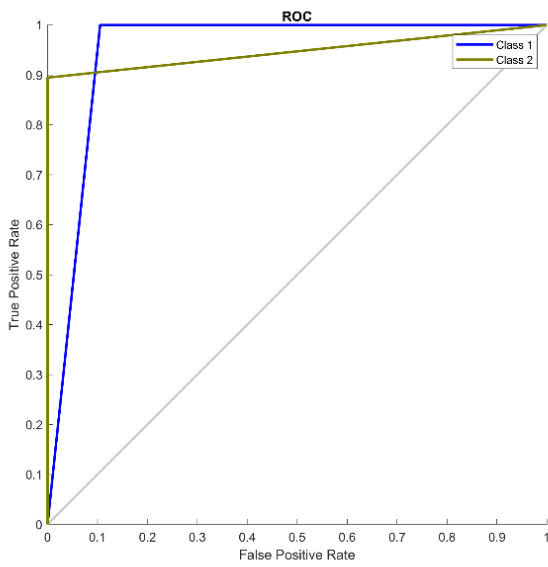
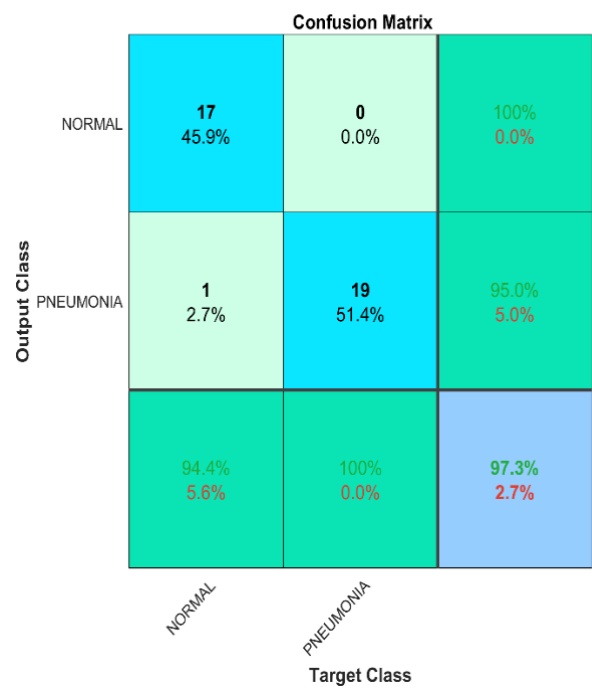
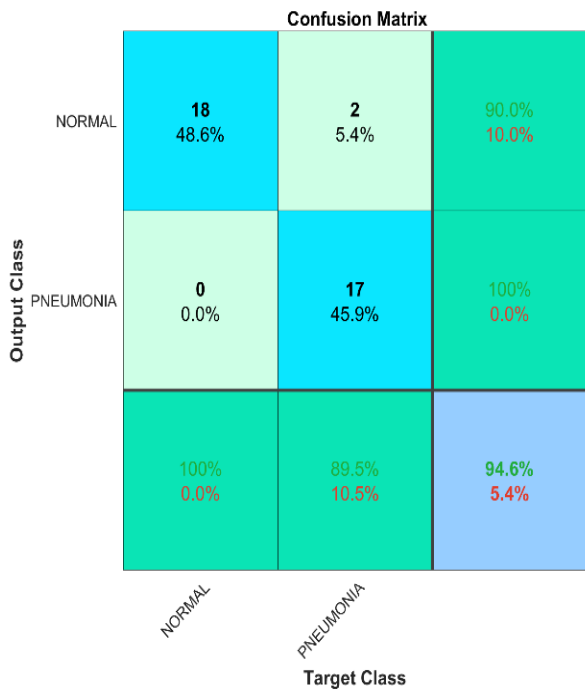
| Covid | Normal | Pre-process-Covid | Pre-process-Normal |
|-------|--------|-------------------|--------------------|
| | | | |

3. Experimental Results

In this study, 3 different Covid-19 images were classified in experimental studies using 5-fold cross-validation. CM results obtained as a result of experimental studies conducted with the ResNet18 deep learning model for the 1.Fold are shown in Table 2.

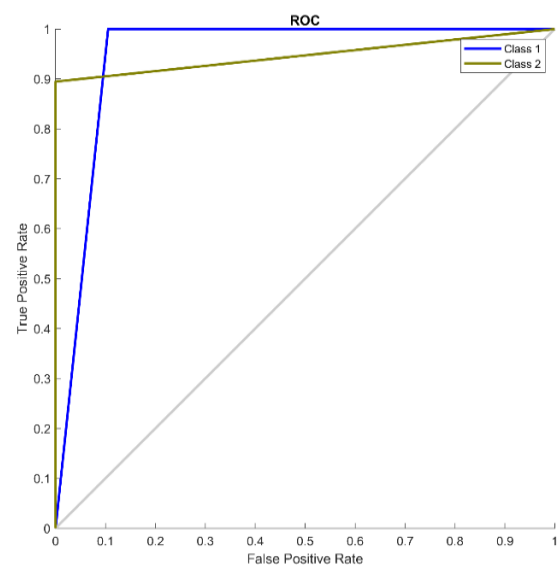
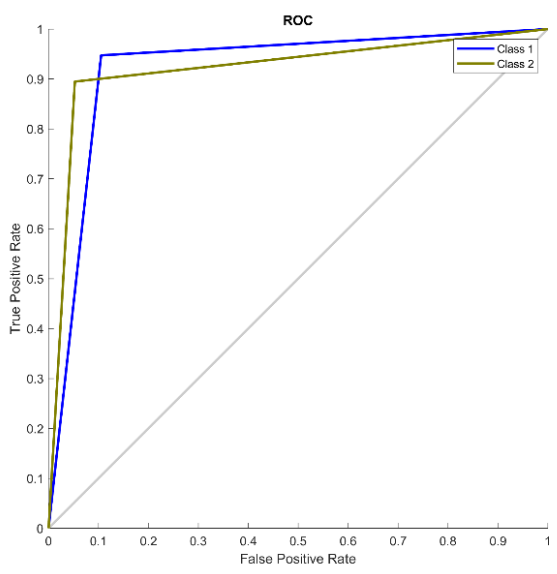
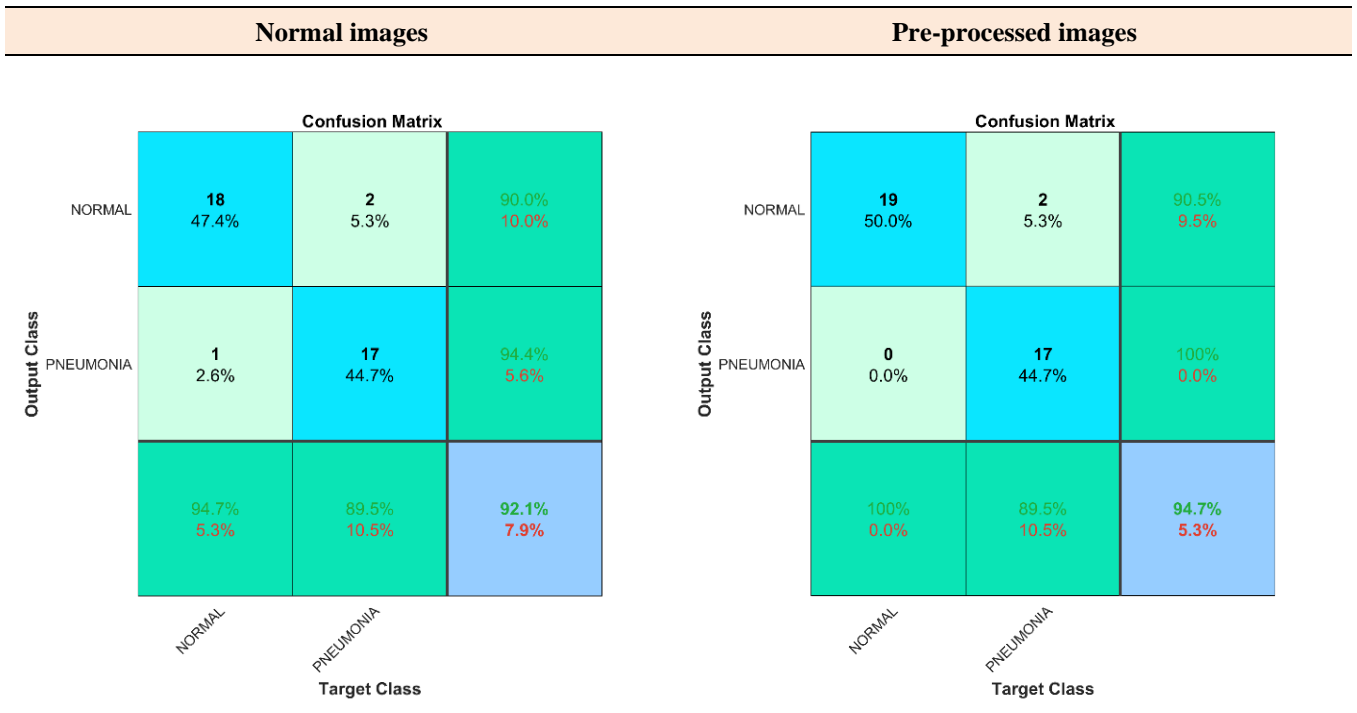
Table 2. 1.Fold CM results

| | |
|----------------------|-----------------------------|
| Normal images | Pre-processed images |
|----------------------|-----------------------------|



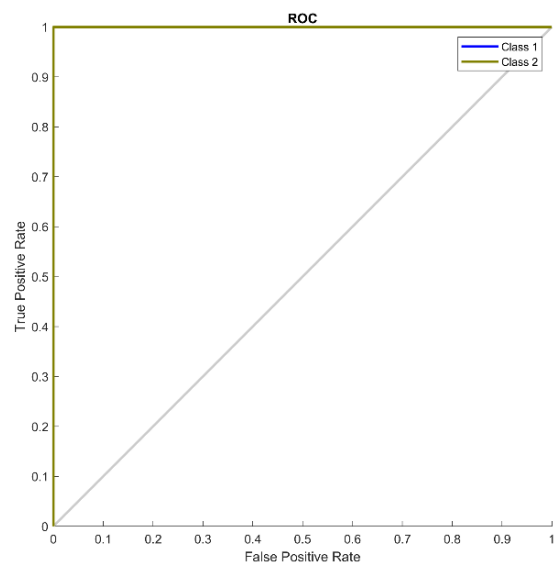
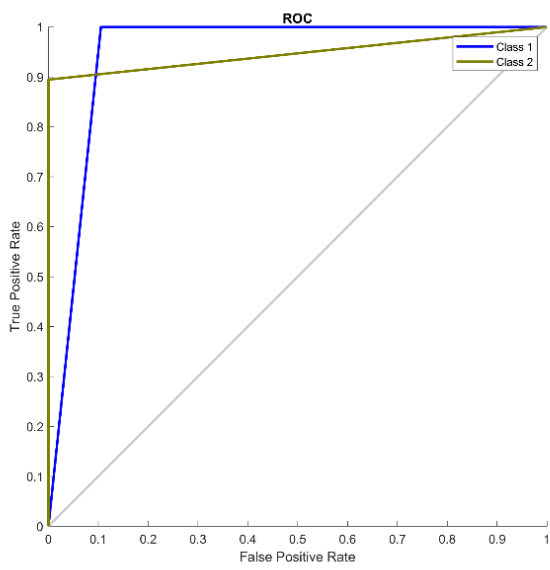
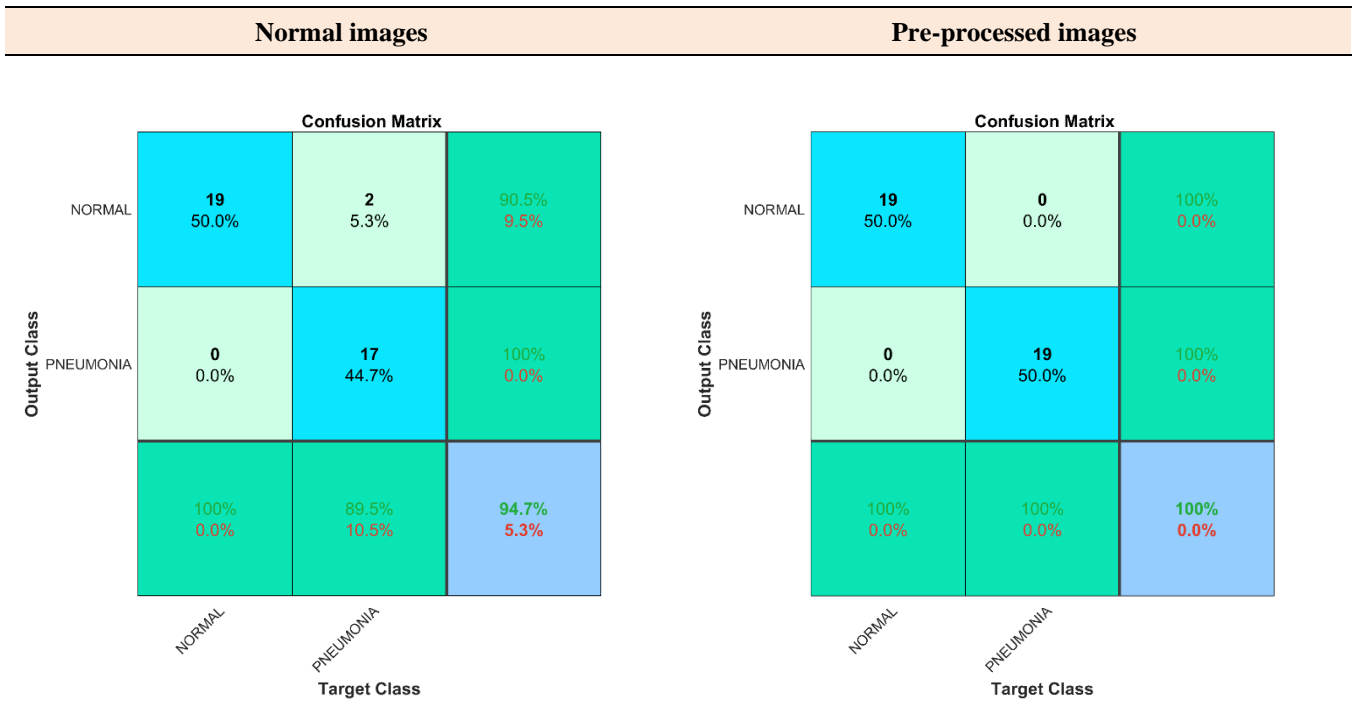
2.Fold CM results are shown in Table 3.

Table 3. 2.Fold CM results



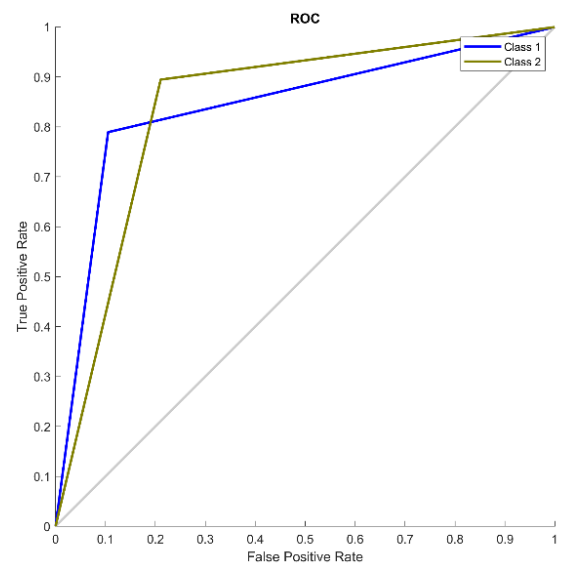
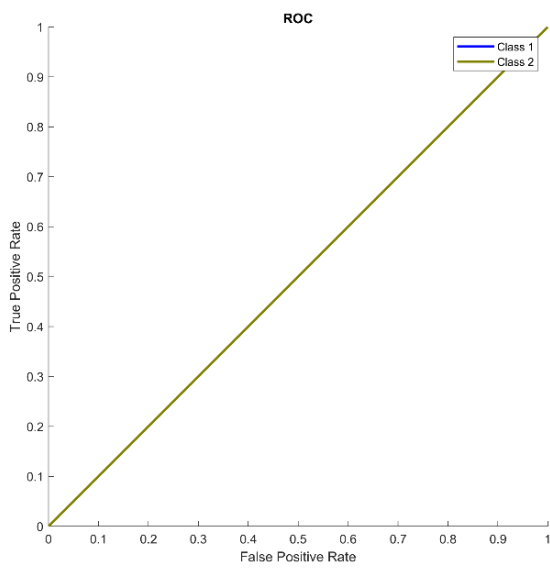
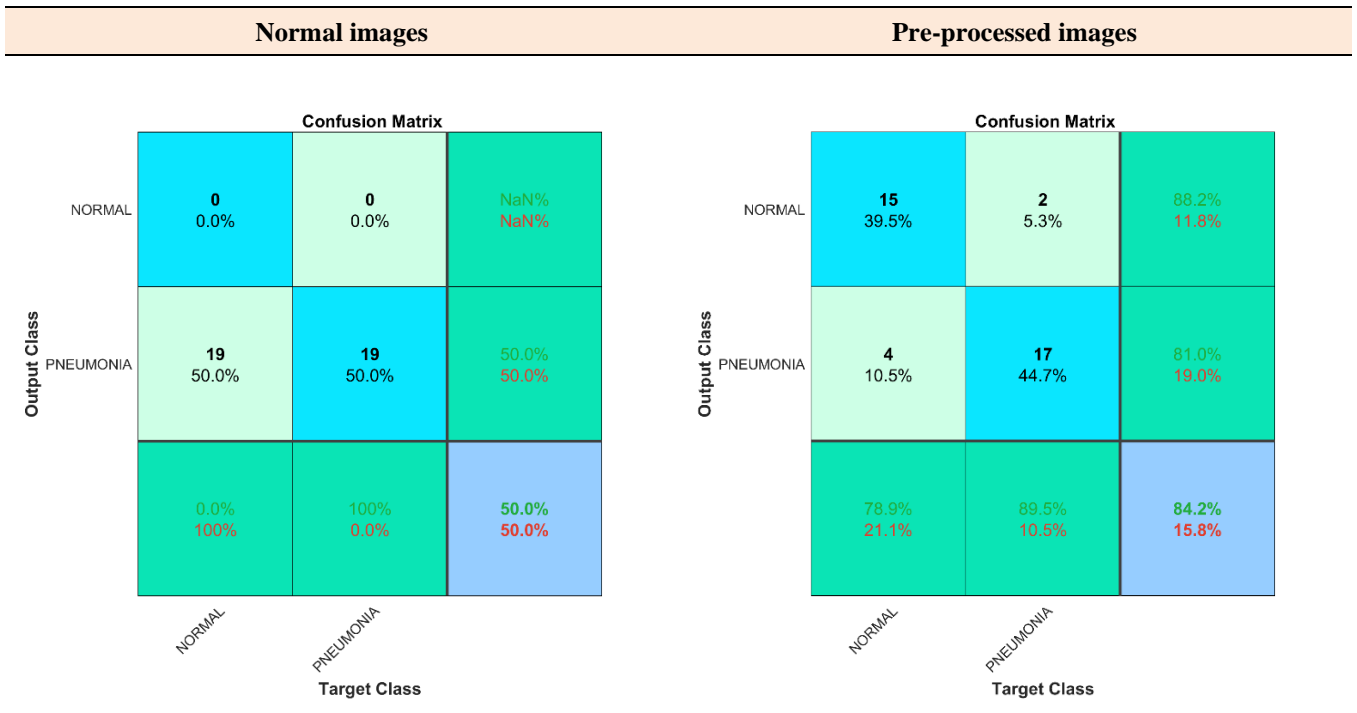
3.Fold CM results are shown in Table 4.

Table 4. 3.Fold CM results



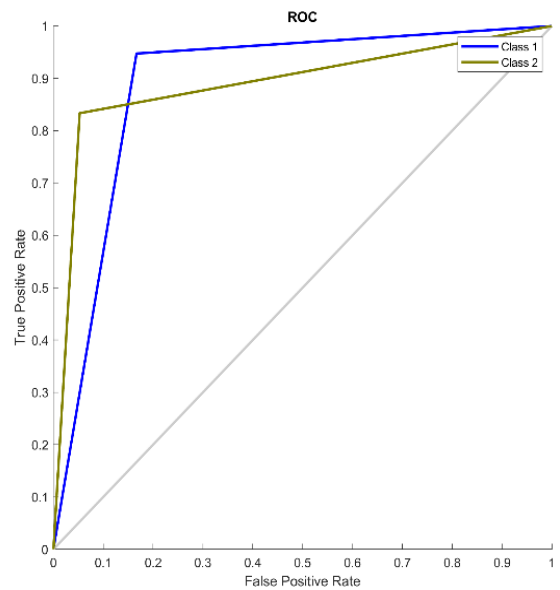
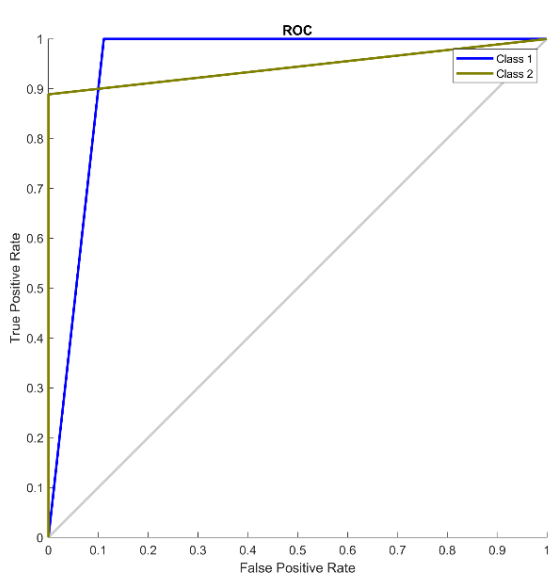
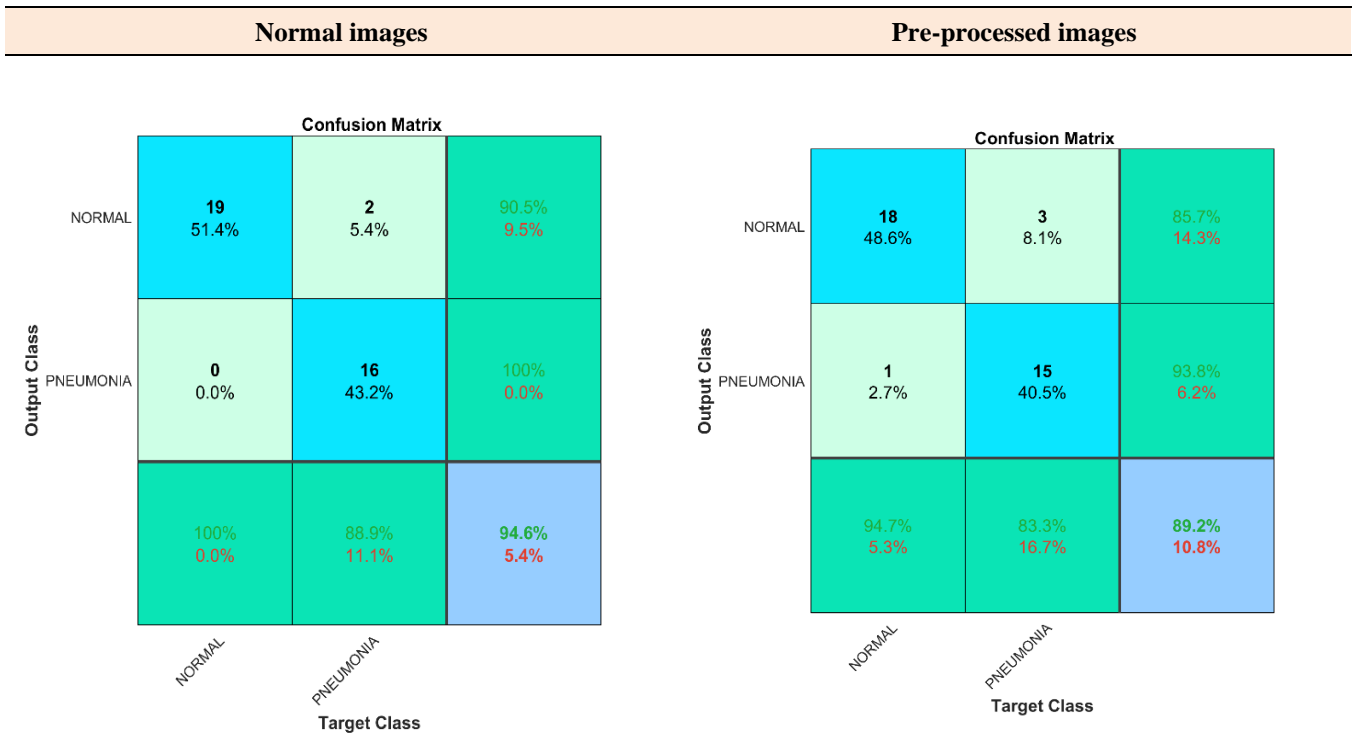
4.Fold CM results are shown in Table 5.

Table 5. 4.Fold CM results



5.Fold CM results are shown in Table 6.

Table 6. 5.Fold CM results



In this study, the experimental results obtained as a result of the pre-processing for Covid-19 detection are shown in Table 7.

Table 7. Results with Pre-process

| | Sensitivity | Specificity | Accuracy | F-1 Score |
|---------------|-------------|-------------|----------|-----------|
| 1.Fold | 0.9722 | 0.9722 | 0.9729 | 0.9728 |
| 2.Fold | 0.9473 | 0.9473 | 0.9473 | 0.9472 |
| 3.Fold | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 4.Fold | 0.8421 | 0.8421 | 0.8421 | 0.8416 |
| 5.Fold | 0.8903 | 0.8903 | 0.8918 | 0.8911 |

When we look at the CM results in general, we see that an average accuracy rate of 0.85206% is obtained from images without pre-processing, while an average accuracy rate of 0.93086% is obtained from pre-processed images. Pre-processed images gave more accurate results because some unnecessary images were cleaned.

4. Conclusions and Future Works

Analyzing medical images by doctors using artificial intelligence techniques is of great importance for faster and more accurate diagnosis. In this study, the effect of pre-processed images to detect Covid-19 on the classification result was examined using the ResNet18 deep learning model. Experimental studies compared fold to fold. Transactions were carried out by performing 5-fold cross validation. According to the results obtained as the average of these folds, the best accuracy value was obtained as 1 from the 3.Fold, and the worst accuracy value was obtained as 0.8421 from the 4.Fold. As a result of the experimental studies, better classification results were obtained from pre-processed images. In future studies, classification can be performed on images using different image pre-processing and different deep learning models.

References

- [1] Wang X., Peng Y., Lu L., Lu Z., Bagheri M., and Summers R. M. "Chestx Ray8: Hospital-Scale Chest X-Ray Database and Benchmarks on Weakly Supervised Classification and Localization of Common Thorax Diseases", *In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 2097-2106, 2017.
- [2] Lu R., Zhao X., Li J., Niu P., Yang B., Wu H., and Tan W., "Genomic Characterisation and Epidemiology of 2019 Novel Coronavirus: Implications for Virus Origins and Receptor Binding", *The Lancet*, vol. 395, no. 10224, pp. 565-574, 2020.
- [3] Horry M. J, Chakraborty S., Paul M., Ulhaq A., Pradhan B., Saha M., and Shukla N., "COVID-19 detection through transfer learning using multimodal imaging data", *IEEE Access*, vol. 8, pp. 149808-149824, 2020.
- [4] Ucar F., and Korkmaz D., "COVIDiagnosis-Net: Deep Bayes-SqueezeNet based diagnosis of the coronavirus disease 2019 (COVID-19) from X-ray images", *Med Hypotheses*, vol. 140, 2020.
- [5] Ouyang X., Huo J., Xia L., Shan F., Liu J., Mo Z., Yan F., Ding Z., Yang Q., Song B., Shi F., Yuan H., Wei Y., Cao X., Gao Y., Wu D., Wang Q., and Shen D., "Dual-sampling attention network for diagnosis of COVID-19 from community acquired pneumonia", *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 39, no. 8, pp. 2595-2605, 2020.
- [6] Jaiswal A., Gianchandani N., Singh D., Kumar V., and Kaur M., "Classification of the COVID-19 infected patients using DenseNet201 based deep transfer learning", *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*, vol. 39, no. 15, pp. 5682-5689, 2021.
- [7] Wang L., Lin Z. Q., and Wong A., "Covid-net: A tailored deep convolutional neural network design for detection of covid-19 cases from chest x-ray images", *Scientific Reports*, vol. 10, no. 1, pp. 1-12, 2020.
- [8] Albahli S., Ayub N., and Shiraz M., "Coronavirus disease (COVID-19) detection using X-ray images and enhanced DenseNet", *Applied Soft Computing*, vol. 110, 2021.
- [9] Goel T., Murugan R., Mirjalili S., and Chakrabarty D. K., "Automatic screening of covid-19 using an optimized generative adversarial network", *Cognitive Computation*, pp. 1-16, 2021.
- [10] Liang X., Zhang Y., Wang J., Ye Q., Liu Y., and Tong J., "Diagnosis of COVID-19 pneumonia based on graph convolutional network", *Frontiers in Medicine*, vol. 7, 2021.
- [11] Alshazly H., Linse C., Barth E., and Martinetz T., "Explainable COVID-19 detection using chest CT scans and deep learning", *Sensors*, vol. 21, no. 2, 2021.
- [12] Chaudhary P. K., and Pachori R. B., "FBSED based automatic diagnosis of COVID-19 using X-ray and CT images", *Computers in Biology and Medicine*, vol. 134, no. 104454, 2021.
- [13] Avuçlu E., "A novel method using Covid-19 dataset and machine learning algorithms FOR THE MOST ACCURATE DIAGNOSIS that can be obtained in medical diagnosis", *Biomedical Signal Processing and Control*, vol. 77, no. 103836, 2022.

- [14] Avuçlu E., “COVID-19 detection using X-ray images and statistical measurements”, *Measurement*, vol 201, no. 111702, 2022.
- [15] Elen A., “Covid-19 detection from radiographs by feature-reinforced ensemble learning”, *Concurrency Computat Pract Exper*, vol. 34, no. 23, 2022.
- [16] Aydemir F., “IoT Based Indoor Disinfection Coordinating System Against the New Coronavirus”, *International Scientific and Vocational Studies Journal*, vol. 4, no. 2, pp. 81-85, 2020.
- [17] Kaiming H., Xiangyu Z., Shaoqing R., and Jian S., “Deep Residual Learning for Image Recognition”, *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, pp. 770-778, 2016.
- [18] Kaya V., “Otonom Güvenlik Kontrollerinde Kullanılmak Üzere Derin Öğrenme Tabanlı Silah Tespit Ve Tanıma Sistemi”, *Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektrik Elektronik Mühendisliği Teknolojileri Programı*, 2021.
- [19] Web site, Covid-19 Image Dataset, <https://www.kaggle.com/datasets/pranavraikokte/covid19-image-dataset/code?resource=download>, Accessed Date:14.5.2023.

Problems Experienced By Inland Water Fishermen During The Pandemic (Covid-19): The case of Yozgat Province

Mürşide Dartay ^{a,1}

^a Fırat University, Faculty of Fisheries, Elazığ, Turkey
ORCID ID: 0000-0001-8875-8702

Abstract

The fishermen of Yozgat province, which is located in the middle of the steppe without a seashore, export the fish they catch abroad. During the pandemic, export in fisheries is restricted. For this reason, the aim of this study was to investigate the difficulties and problems experienced by fishermen in Süreyyabey and Gelin Güllü Dam lakes during the pandemic period covering the years 2020-2021 (March-2020; March 2021). In the study, 2 different questionnaire forms were carried out by face-to-face interviews with fishermen and cooperative presidents. As a result of the study; In the fishing period of July-December 2020 (6 months), there was no fish export and the fishery paused. In January-March 2021, exports started to be made at a certain quota. It was determined that 63.63% (n=21) of a total of 33 fishermen in Cekerek Dam Lake quit fishing, 66.66% (n=14) started farming, 33.33% (n=7) migrated, and 36.36% (n=12) continued fishing during the pandemic. In Gelin Güllü Dam lake, 35 % (n=7) of the total 20 fishermen quit fishing, 20 % (n=4) started farming and 65 % (n=16) continued fishing. Carp (*Cyprinus carpio*), Silver (*Atherina boyeri*), Siraz (*Capoeta pestai*), Sudak (*Sander lucioperca*) species were caught in the region during the pandemic. The problems experienced by the fishermen in the region; unregulated fishing, marketing, it was determined that they did not receive any government support.

Keywords: “Pandemic, fisheries, Süreyyabey dam lake, Gelin Güllü dam lake, Yozgat.”

1. Introduction

Çekerek Dam (Süreyyabey Dam), which ranks 10th among the dams in Turkey in terms of water collection and capacity, is a dam built between 1996-2004 for irrigation, energy and flood control purposes on Çekerek Stream in Yozgat province. The body volume of the dam is 7.500.000 m³, the height from the river bed is 103,00 m, the lake volume at normal water level is 1310,0 hm³, and the lake area at normal water level is 41,34 km². The surface area of Çekerek Dam is 4.133 hectares. In Kayabaşı Plain, it merges with the main branch of Yeşilırmak coming from Tokat (Tokat River) and forms Yeşilırmak. In spring and autumn, the water it carries increases and the river swells. The length of Çekerek Stream is 256 km and the rainfall basin is 12,000 km² [1].

Gelin Güllü Dam Lake is located in the Central Anatolia Region, 40 km south of Yozgat province (39°36'30 "N, 35°03'20 "E), at an altitude of 1050 m. The dam was built on the Delice River, a tributary of the Kızılırmak River, and the most important river source feeding the dam is the Kanak Stream. It has been determined that the water temperature in the lake, which is located in a region with a harsh continental climate, is around 25 °C at most in summer and drops to 0 °C in winter [2,3].

Gelingüllü reservoir started to hold water in November 1993 and its water elevation was 987.14 m in January 1994, while it exceeded 1000 m in a short period of one year, in other words, the environment has lost its river characteristics and started to gain lake characteristics. In order to encourage fishing in the region, 200.000 mirror carp of 3-5 cm size were grafted into this dam lake, which was established to create an agricultural water reservoir, for the first time in September 1994 and the mirror carp stock was renewed in the following years. The surface area of Gelin Güllü Dam is 2,320 hectares [4].

In this study, during the pandemic period (March 2020-2021), 12 out of 33 fishermen in Çekerek Dam Lake and 16 out of 20 fishermen in Gelin Güllü Dam lakes continued to actively fish. The aim of this study is to investigate the problems experienced by the fishermen of Yozgat province, who market the fish they catch abroad, during the pandemic.

¹ Corresponding Author
E-mail Address: mdartay@firat.edu.tr

2. Material and Methods

2.1. Study Area

The study area is Çekerek and Gelin Güllü reservoirs in Yozgat province, which is located in the Central Anatolia Region, in the middle of the steppe with no coast to the sea (Figure 1).



Figure 1. Study areas (Gelin Güllü Dam Lake and Çekerek Dam Lake)

In this study, Gelingüllü Dam Lake S.S. Esenli Town and Surrounding Villages Fishery Cooperative and Çekerek Dam Lake S.S. Çekerek Fishery Cooperative fishery cooperative presidents and members were interviewed and questionnaire forms were filled out. In the questionnaire forms; the number and status of fishermen fishing in the region during the pandemic, the number of fishing boats used in fisheries, socio-demographic characteristics of fishermen, types and characteristics (mesh size, length) of fishing gears used in fisheries, specials and amount of fishes caught, and the problems they experienced during the pandemic were included in the questions.

3. Results

The fishermen of Yozgat province export the fish they catch abroad. During the pandemic, exports in fisheries were restricted. For this reason; In the fishing period of July-December 2020 (6 months), fish exports were not made and fishing was paused. In January-March 2021 (3 months), exports started to be made at a certain quota. Fisheries data in Çekerek and Gelin Güllü Dam Lakes during the pandemic are given in Table 1.

Table 1. The Fisheries data from Çekerek and Gelin Güllü Dam Lakes during the pandemic

| The Fishing Areas | The Lake Area (Hectar) | The number of fishermen after p. | The number of fishermen before p. | The number of boats |
|----------------------|------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|
| Çekerek Dam Lake | 4133 | 33 | 12 | 12 |
| Gelin Güllü Dam Lake | 2320 | 20 | 13 | 13 |
| Toplam | 6453 | 53 | 25 | 25 |

As can be seen in Table 1, during the pandemic, the fishing area of Yozgat province was 6453 hectares in total and it was determined that fishing was carried out by 25 fishermen and 25 boats. The distribution of fishing gear used in the region is given in Figure 2.

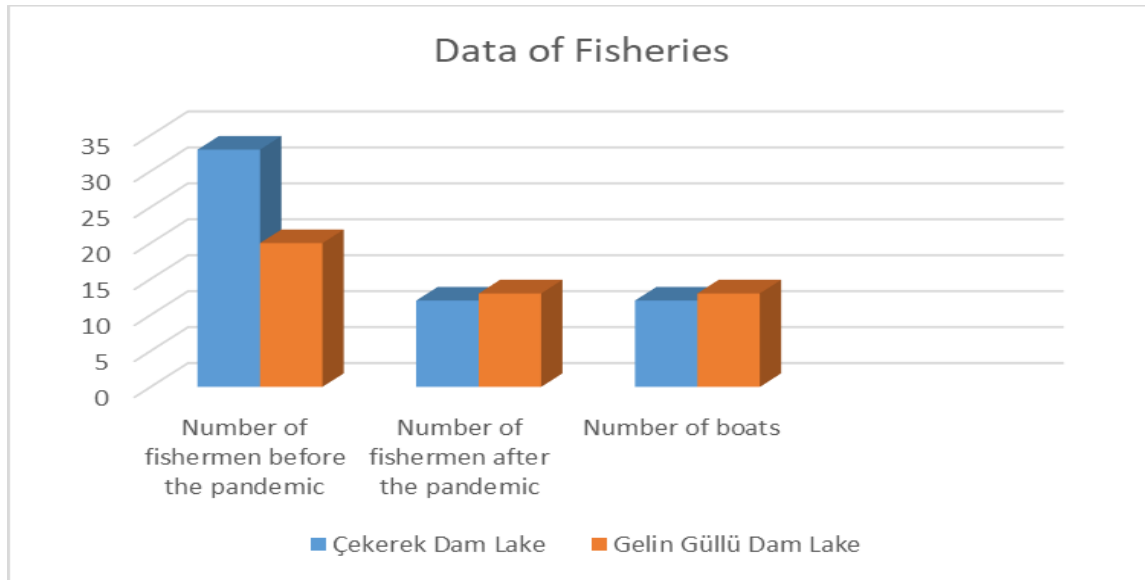


Figure 2. Data of fishing in the Çekerek and Gelin Güllü Dam Lakes

During the pandemic, it was determined that 21 of the total 33 fishermen in Çekerek Dam gave up fishing and 12 of them continued fishing, while 7 of the total 20 fishermen in Gelin Güllü Dam gave up fishing and 16 of them continued fishing.

Table 2. The fishing gears and the amount of fish caught during the pandemic in Çekerek and Gelin Güllü Dam lake.

| Fishing Areas | Gillnets (m) | Trammel nets (m) | Seine Nets (1 pieces=200 m) | Amount of Fish Caught / Tonnes |
|----------------------|--------------|------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| Çekerek Dam Lake | 12.000 | 10.000 | 8/1600 | 45 |
| Gelin Güllü Dam Lake | 15.000 | 12.000 | 13/2600 | 62 |
| Toplam | 27.000 | 22.000 | 21/4200 | 97 |

As can be seen in Table 2, it was determined that a total of 27,000 m of plain nets (50-80 mm mes size), 22,000 m of trammel nets (trammel; 120-180 mm, gillnets; 40-55 mm), 21 seine nets (bag 4-6 mm and lengths 80-200 m) were used during the pandemic. The amount of fish caught was 45 tonnes / 3 months in Çekerek Dam Lake and 52 tonnes / 3 months in Gelin Güllü Dam Lake. During the pandemic, the yield per hectare was determined as 10.88 kg / Çekerek and 9.60 kg / Gelin Güllü Dam Lake (Figure 3).

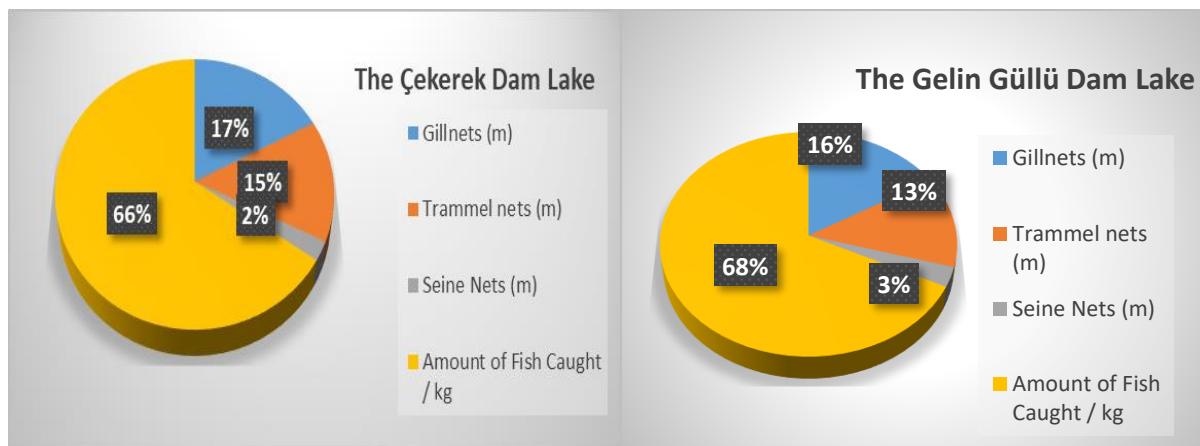


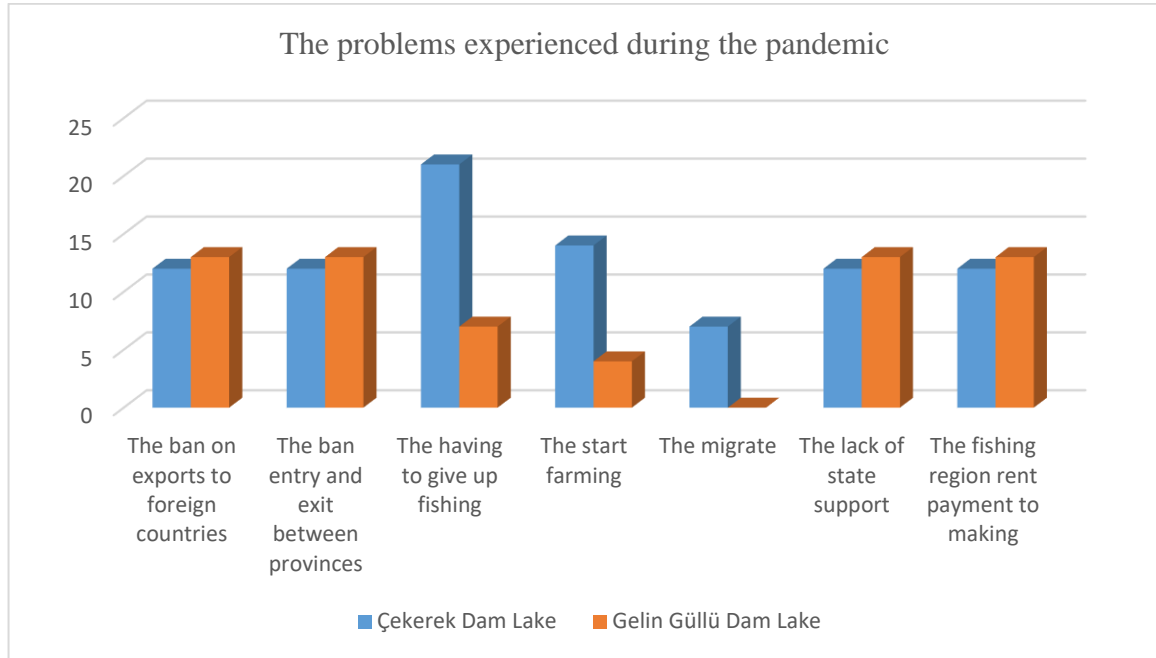
Figure 3. The fishing gears and the amount of fish caught in Çekerek and Gelin Güllü Dam lake.

Carp (*Cyprinus carpio*), Silver (*Atherina boyeri*), Siraz (*Capoeta pestai*), Sudak (*Sander lucioperca*) species were caught in the region during the pandemic. Among these species, silver fish is fished with seine nets. The arms of seine nets are 200 m long. Seine nets are laid at depths of 4-5 m from the shore in the shape of a crescent moon. One arm of the seine is laid on the shore with the other arm on the boat and fishing is carried out between 1 and 1.5 hours. Sudak (*Sander lucioperca*) is only fished in Gelin Güllü Dam Lake. The problems experienced during the pandemic are given in Table 3.

Table 3. The problems experienced by fishermen during the pandemic

| The problems | Number of fishermen | | Number of fishermen | |
|---|----------------------|-------|----------------------|----|
| | in Çekerek D. L. (n) | % | in Gelin Güllü D. L. | % |
| The ban on exports to foreign countries | 12 | 36.36 | 13 | 15 |
| The ban entry and exit between provinces | 12 | 36.36 | 13 | 15 |
| The having to give up fishing | 21 | 63.63 | 7 | 35 |
| The start farming | 14 | 66.66 | 4 | 20 |
| The migrate | 7 | 33.34 | - | 0 |
| The lack of state support | 12 | 36.36 | 13 | 15 |
| The fishing region rent payment to making during the pandemic | 12 | 36.36 | 13 | 15 |
| The number of fisherman Before the pandemic | 33 | - | 20 | - |

As can be seen in Table 3, during the interviews with fishermen who are members of Fisheries Cooperatives and cooperative presidents, it was asked about the problems they face in fishing; 63.63% (n=21) of a total of 33 fishermen in Çekerek Dam gave up fishing during the pandemic, 66.66% (n=14) started farming, 33.33% (n=7) migrated, 36.36% (n=12) continued fishing. 35% (n=7) of a total of 20 fishermen gave up fishing 20% (n=4) started farming, 65% (n=13) continued fishing in the Gelin Güllü Dam lake .

**Figure 4. The problems experienced by fishermen during the pandemic**

Problems experienced by the fishermen in the region; ban export abroad, ban entry and exit between provinces, reasons such as having to gave up fishing, starting farming, having to migrate due to unemployment, lack of state support, lease payments for fishing grounds during the pandemic period were identified (Figure 4).

4. Discussion and Conclusion

In a study on fish catching in yozgat province, it was determined that the freshwater production in the provinces in the Central Anatolia Region was 1045 tonnes in Kırşehir, 765 tonnes in Yozgat, 464.8 tonnes in Kayseri, 178 tonnes in Aksaray and 20 tonnes in Nevşehir in the 2016-2017 fishing season, respectively [1]. In this study, it was determined that 97 tonnes of fish were caught in total.

Demir [1], determined that 450 tonnes of fish were caught from Çekerek and 315 tonnes of fish were caught from Gelin Güllü reservoir in 2016-2017. The number of fishermen was determined as 23 in Gelin Güllü reservoir and 16 in Çekerek reservoir. The total amount of gill nets used was 26000 m in Gelin Güllü reservoir and 16600 m in Çekerek reservoir. In addition, it was determined that a total of 750 fykenets were used for crayfish fishing.

In this study, it was determined that a total of 97 tonnes of fish were caught during the pandemic. 45 tonnes of these fish were caught from Çekerek and 62 tonnes from Gelin Güllü reservoirs. There has been a decrease in the number of fishermen due to the abandonment of fishing. In addition, since they marketed their fish to the exporting company, there were great difficulties during the pandemic and the fishing data decreased considerably.

During the fishing period of July-December 2020 (6 months), no fish exports were made and the fishery stagnated. However, in January-March 2021, exports started to be made at a certain quota. It was determined that 63.63% (n=21) of a total of 33 fishermen in Çekerek dam gave up fishing, 66.66% (n=14) started farming, 33.33% (n=7) migrated, and 36.36% (n=12) continued fishing during the pandemic. In Gelin Güllü Dam Lake, 35 % (n=7) of the total 20 fishermen gave up fishing, 20 % (n=4) started farming and 65 % (n=13) continued fishing.

There are studies on fish catching in inland waters. Some of these studies are as follows. The annual amount of fishery products caught by fishermen who are members of fishery cooperatives in the Eastern and Southeastern Regions in a total area of 530.146 ha is 6.355 tonnes/year. Van province ranks first in production with 70.03% [5]. The amount of fish caught by cooperatives in Elazığ province was determined as 4.6, 6.7 and 6 tonnes in Kemaliye, Peri and Göktepe regions, respectively, in 2003-2004 fishing season [6]. They reported that the annual total amount of fish caught in Keban Dam Lake was 480 tonnes/year and the amount of crayfish was 17 tonnes/year, 7.71% of the annual catch was provided by Elazığ province, 27.08% by Tunceli province and 5.21% by Erzincan province [7]. The aquaculture production in Adıyaman province in 2013 was determined as 643 tonnes [8], It has been stated in the studies that the marketing problem of Yozgat province was also experienced before the pandemic and other problems.

The fish caught by the Central Anatolia Region Fisheries Cooperatives are exported not only to domestic markets but also to foreign countries. Especially silver fish is widely fished in the inland waters of our country and exported to some European Union countries in significant quantities. Fishing of other fish species silver fish were an alternative source of income for fishermen when they were prohibited. happens. Most of the co-operatives in the Central Anatolia Region are not able to meet together and make decisions cooperative where they can receive and discuss the problems and solution proposals of the cooperative.

It has been determined that they do not have buildings. Ineffective management of co-operatives, the inability of fishermen to organise themselves among themselves, and the rental price of the cooperative financial difficulties in payment, decrease in the amount of economic fish, fishing the tools and equipments do not comply with the standards, the fishermen catch the fishery products some co-operatives have ceased to operate due to problems such as individual marketing. They stated that they tended to stop. Co-operative members' aquaculture products In the event that the co-operative does not act in accordance with the articles of association of the Fisheries and Aquaculture. In case of liquidation decision as a result of the inspections of the General Directorates of Products unmanageable co-operatives are terminated. Landing of the landed catch by middlemen and brokers points and offered to the market. The biggest fishery in aquaculture One of the problems is the inability to market the products under favourable conditions and prices. One of the most important problems of co-operatives is to prevent catching is the inability to move on [1,10,11,12,13,14]. In this study, it was determined that there were similar problems with the studies mentioned above.

Acknowledgements

During this study; I would like to thank Yozgat Bozok University Faculty Member Assoc. Prof. Dr. Güllü Kırat for her help in surveying fishermen in Çekerek and Gelin Güllü Dam Lakes.

References

- [1] Demir, H. "Some Aquaculture Products in interior Anatolia Region Structure of Cooperatives and Fishing Vessels Technical Specifications of Fishing vessels". Ordu University, Institute of Science and Technology, Master Thesis, p 67,2019.
- [2] Kırankaya, Ş. G., Ekmekçi, F. G. "Growth Characteristics of Mirror Carp (*Cyprinus carpio* L., 1758) Living in Gelingüllü Dam Lake". Turk J Vet Anim Sci. 28: 1057-1064, 2004.
- [3] Ekmekçi, F. G., Kırankaya, Ş.G. "An Example for Determination of Changes in Fish Growth During Ontogeny in Dam Lake: Mirror Carp Population in Gelingüllü Dam Lake (Yozgat, Turkey)". Turk J Vet Anim Sci. 28; 1129-1135, 2004.
- [4] Anonim. "Yozgat provincial environmental status report" https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/editordosya/Yozgat_icdr2023.pdf-(Erişim tarihi: 03.06.2023), 2013.

- [5] Ural, M., Canpolat, İ. “The structure of fishery cooperatives in Eastern and Southeastern Anatolia and technical characteristics of fishing gear and fishing boats”. Turkish Science Research Foundation, 2(4), 372-384, 2009.
- [6] Orsay, B., Duman, E. “Kemaliye, Peri and Göktepe regions Investigation of fishing catch power and various characteristics”. Firat University Science and Journal of Engineering Sciences.17(1), 121-129, 2005.
- [7] Dartay, M., Canpolat, İ. “Keban Dam Lake (Elazığ, Turkey) fisheries problems and solution proposals”. Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences , 33(3), 291-298, 2016.
- [8] Bayhan, Y. K., Korkmaz, S., Olgunoğlu, M. P. “Fisheries of Adıyaman province current situation and problems”. Yunus Research Bulletin, (4), 37-46, 2014.
- [9] Canpolat, İ., Memişoğlu, E., Gürçay, S., Birici, N., Arısoy, G. “Current status of fishery cooperatives in Elazığ province”. Yunus Research Bulletin, (1), 11-21, 2015.
- [10] Dartay, M., Canpolat, İ. “Socio-economic structure of fishermen who are members of fishery cooperatives in Keban Dam Lake (Elazığ, Turkey)”. Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences , 34(1), 41-46, 2017.
- [11] Dartay, M., Duman, E., Duman, M., Ateşşahin, T. “Socio-economic analysis of fishermen in Pertek region of Keban Dam Lake”. Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 26 (2), 135-138, 2009.
- [12] Karademir, M., Arat, M. E. “Problems encountered in aquaculture co-operatives and solution suggestions: The case of Istanbul province”. Marmara University Suggestion Journal, 11(41), 133-156, 2014.
- [13] Mete O. S., Yüksel, F. “Socio-economic Analysis of Commercial and Sport Fishing in Seyhan Dam Lake” Journal of Science and Youth, 2 (1), 2014.
- [14] Ergüden, D., Alagöz Ergüden, S. and Öztekin, R. “Seyhan Dam Lake Fisheries Problems and Solutions”, Turkish Journal of Aquatic Life,, 3-5 (5-8): 93-97,2007.

Quantum Mechanical Calculations, Hirshfeld Surface Analysis, Molecular Docking, ADME and Toxicology Studies of the Ethyl 4-chloro-2-[(4-nitrophenyl)hydrazono]-3-oxobutrate Compound

Sefa Öztürk ^a, Tuğba Aycan ^{b,1}, Zeynep Keleşoğlu ^c, Cem Cüneyt Ersanlı ^d

^a Sinop Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Sinop/Türkiye
ORCID ID: 0000-0003-2036-7734

^b Sinop Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Sinop/Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-5313-7807

^c Sinop Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Sinop/Türkiye
ORCID ID: 0000-0001-9538-9140

^d Sinop Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Sinop/Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-8113-5091

Abstract

The theoretical chemical activity parameters of the compound Ethyl 4-chloro-2-[(4-nitrophenyl)hydrazono]-3-oxobutrate, which had previously been synthesized and crystallographically studied, were determined using Density Functional Theory (DFT). With Hirshfeld surface analysis, the effects of molecular interactions on the surface were defined with surface maps and the percentage contribution of the interactions of atoms with each other was determined. In addition, second-order nonlinear optical properties (NLO) and thermodynamic parameters were examined at temperatures between 100 and 1000 K. In addition, molecular docking study was carried out by downloading structure of a B-DNA dodecamer (PDB ID: 1BNA) from PDB (Protein Data Bank). ADME and toxicology properties were examined using the complex, *in-silico* method and it was discussed whether it had drug properties.

Keywords: “Quantum mechanical calculations, Hirshfeld surface analysis, molecular docking, ADME, toxicology.”

1. Giriş

Hidrazonlar azo şelat bileşiklerinin bir örneğidir. Hidrazon bileşiklerinin koordinasyon kimyası ilginç bir araştırma alanı olmaya devam etmektedir. Hidrazon, katalizörler [1, 2], moleküler sensörler [3] ve aynı zamanda terapötik ajanlar [4] olarak potansiyel uygulamalara sahip olan bir bileşik sınıfıdır. Bu tür bileşiklerin biyolojik özellikleri ve bağlanma modlarının çeşitliliği, bize koordinasyonun doğasını ve özelliklerini keşfetme konusunda ilham vermektedir. Moleküler modelleme yöntemi ile bu ligantların kimyasal ve fiziksel özellikleri aydınlatılabilir. Bilgisayar tabanlı bazı yaklaşımlar yaparak moleküler ve biyolojik özellikler belirlenebilir. Bilgisayar destekli ilaç keşfi ve geliştirme, aktif ilaç adaylarını belirlemek için büyük olasılıklı adaylar seçmek ve büyük olasılıklı adayları optimize etmek gerekmektedir. Yani biyolojik olarak aktif bileşikler fizikokimyasal, farmasötik, zayıf aktivite ve/veya zayıf absorpsiyon, dağılım, metabolizma, atılım ve toksisite farmakokinetik özellikleri geliştirilerek uygun ilaçlara dönüştürmek için kullanılmaktadır [5]. YFK, daha kısa sürede ve yüksek doğrulukla hesaplama yapma olanağı sağladığı için oldukça kullanışlıdır [6].

Etil 4-kloro-2-[(4-nitrofenil)hidrazono]-3-oksobütirat bileşiğinin deneysel çalışması Odabaşoğlu, et al. [7] tarafından yapılmıştır [7]. Bileşiğin kuramsal kimyasal aktivite parametreleri Yoğunluk Fonksiyonel Kuramı (YFK) kullanılarak belirlendi. Hirshfeld yüzey analizi ile moleküler etkileşimlerin yüzeye olan etkileri yüzey haritaları ile tanımlandı ve atomların birbirleriyle etkileşimlerinin yüzde katkısı belirlendi. Bunların yanı sıra ikinci dereceden lineer olmayan optik özellikleri (NLO) ve termodinamik parametreleri 100 ile 1000 K arasındaki sıcaklıklarda incelendi. B-DNA dodekamer yapısı Protein Data Bank'tan indirilerek, AutoDockVina yazılımı ile bileşik-DNA kenetleme çalışması yapıldı. İlaç-benzeri karakterlerini en iyi şekilde tahmin etmek için ilaç-benzerlik testi, ADME ve toksikolojisi *in-silico* yöntemlerle araştırıldı.

¹ Corresponding Author
E-mail Address: taycan@sinop.edu.tr

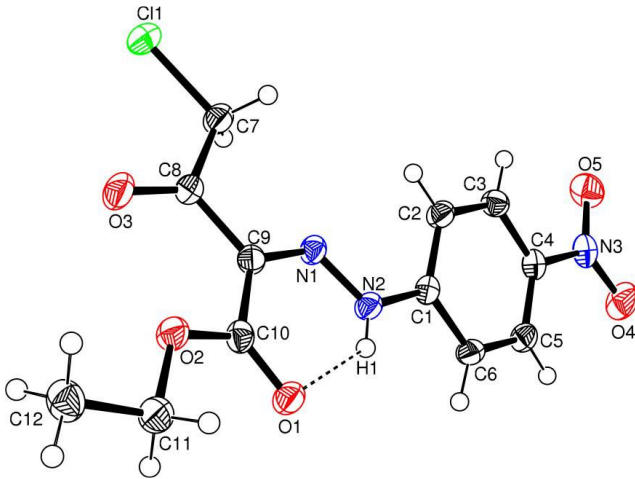
2. Materyal ve Metot

Kuramsal hesaplamalar yeni materyallerin sentezi için araştırmacılara öngörü kolaylığı sağlamaktadır. Bu organik molekül grupları için tercih edilen yöntem YFK'dır. Etil 4-kloro-2-[(4-nitrofenil)hidrazono]-3-oksobütirat bileşiminin hesaplamaları için Gaussian 09 [8] programı kullanıldı ve YFK/B3LYP/6-311G(d,p) baz seti seçildi. Tek kristalin cif uzantılı dosyası ile Hirshfeld yüzey analizi yapıldı. Bu analiz için Crystal Explorer 17.5 yazılımı kullanıldı [9]. B-DNA dodekamer PDB'dan (Protein Veri Bankası) indirildi (PDB ID:1BNA <http://www.rcsb.org/pdb>). Moleküler modelleme çalışmaları AutoDock Tool (ADT) v1.5.6 ve AutoDock Vina kenetleme yazılımı ile gerçekleştirildi [10]. ADT yazılımı ile enzimlerin suları ihmal edilerek polar hidrojen atomları eklendi. Grid ızgarası 1Å aralıklı olarak oluşturuldu. DNA ve bileşik arasındaki etkileşimler DS (Discovery Studio) yazılımı kullanılarak listelendi ve görselleştirildi [11]. Bileşiklerin ilaç-benzerlik özellikleri, SwissADME web sunucusu tarafından gerçekleştirildi. ADME parametrelerinin [Adsorpsiyon (A), dağılım (D), metabolizma (M), atılım (E)] yanı sıra küçük bileşiklerin farmakokinetik özellikleri, ilaca-benzerlik doğası, etkin ilaç araştırmaları için çalışıldı [12]. Bileşiklerin farmakokinetik özelliklerini incelemek için OpenBabelGui ve SwissADME çevrimiçi yazılımı kullanıldı [13]. Ayrıca, bu kimyasal bileşiklerin çeşitli toksikolojik özelliklerini tahmin etmek için ücretsiz web sunucusu ProTox-II (https://tox-new.charite.de/protox_II/) kullanıldı [14-16].

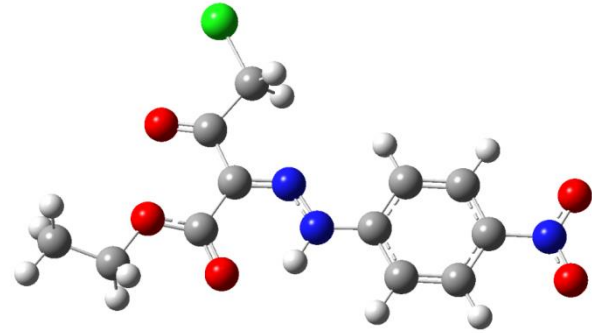
3. Bulgular ve Tartışmalar

3.1. Optimize Moleküler Yapı

Etil 4-kloro-2-[(4-nitrofenil)hidrazono]-3-oksobütirat kristalinin sentezi ve X-ışını kırınımı kullanılarak yapı tayini Odabaşoğlu ve arkadaşları tarafından yapılmıştır [7]. İncelenen kristal triklinik kristal sisteminde $P\bar{1}$ uzay grubunda olup, birim hücrelerinde 2 moleküle sahiptir. $C_{12}H_{12}ClN_3O_5$ kristali N1-N2 ve C1-N2 bağ uzunluğu değerleriyle (Tablo 1) keto-hidrazo formundadır. Bu yapıda imino grup, (Z) konfigürasyonunda olup, bağ uzunluğu değerleri C9-N1 1.306 (2) Å, C1-N2 1.396 (2) Å ve N1-N2 1.315 (2) Å olarak Odabaşoğlu, et al. [7] tarafından X-ışınları yöntemi ile belirlenmiştir. Kristal yapıda N-H...O molekül içi hidrojen bağı mevcuttur. Kristalin paket yapısı C-H...O, C-H... π ve π ... π etkileşimleri ile meydana gelmiştir [7]. Moleküle ait X-ışını kırınımı [7] ve YFK/B3LYP/6-311G(d,p) baz setine ait seçilmiş geometrik parametreler Tablo 1'de karşılaştırılabilir olarak verilmiştir. İncelenen molekülün X-ışını kırınımına ait [7] ve optimize yapı görünümü Şekil 1'de verilmiştir. Kuramsal hesaplamalar sonucunda elde edilen geometrik parametrelerin ve X-ışını kırınımına ait verilerin iyi uyum içinde olduğu görülmüştür.



a) Odabaşoğlu ve arkadaşlarının yapmış olduğu Etil 4-kloro-2-[(4-nitrofenil)hidrazono]-3-oksobütirat kristalinin X-ışını çalışmasının ORTEP-3görünümü [7]



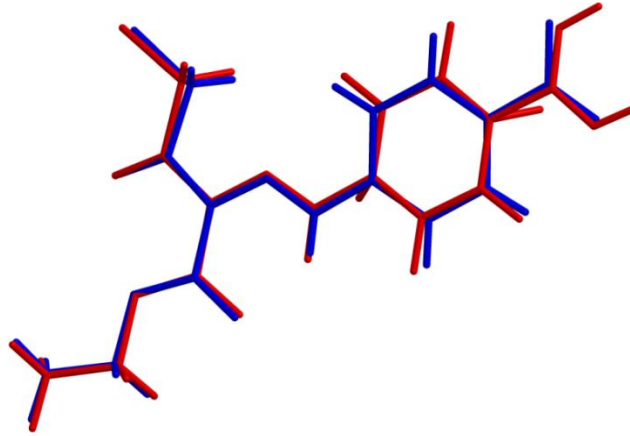
b) Optimize yapı görünümü

Şekil 1. (a) İncelenen yapının ORTEP-3; (b) optimize yapı görünümü.

YFK hesaplamaları moleküller arası etkileşimleri dikkate almaz ve gaz fazında tek bir molekül üzerinden hesaplamaları yapar. Bu sebeple parametrelerde gözlenen ufak farklılıklar beklenen bir sonuçtur. Bunu gösteren çizim ise çalışılan kristalin X-ışını saçılmasından kaynaklanan geometri (mavi) ile YFK yöntemi kullanılarak belirlenen optimize geometrinin (kırmızı) üst üste örtüşmesi (RMSE = 0,200 Å) ile Şekil 2'de gösterilmektedir.

Tablo 1. Odabaşoğlu ve arkadaşlarının çalışmış olduğu Etil 4-kloro-2-[(4-nitrofenil)hidrazono]-3-oksobütirat molekülüne ait YFK/B3LYP/6-311G(d,p) ve X-ışını kırınımı [7] yöntemine ait geometrik parametre verileri.

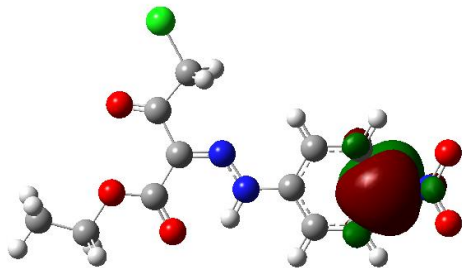
| Bağ Uzunluğu (Å), Bağ Açısı (°) | X-ışını [7] | YFK/B3LYP/6-311G(d,p) |
|---------------------------------|-------------|-----------------------|
| C1-N2 | 1.396 (2) | 1.4017 |
| C4-N3 | 1.460 (2) | 1.4729 |
| C7-C8 | 1.515 (2) | 1.5385 |
| C7-C11 | 1.773 (1) | 1.7933 |
| C8-O3 | 1.203 (2) | 1.2044 |
| C8-C9 | 1.491 (2) | 1.4999 |
| C9-N1 | 1.306 (2) | 1.3100 |
| C9-C10 | 1.481 (2) | 1.4930 |
| C10-O1 | 1.223 (2) | 1.2259 |
| N1-N2 | 1.315 (2) | 1.3100 |
| O3-C8-C9 | 123.11 (13) | 123.0995 |
| C8-C9-C10 | 123.84 (12) | 123.2001 |
| O1-C10-C9 | 121.80 (13) | 121.9012 |
| N2-N1-C9 | 122.43 (13) | 122.5870 |
| C1-N2-N1 | 118.68 (12) | 121.4811 |



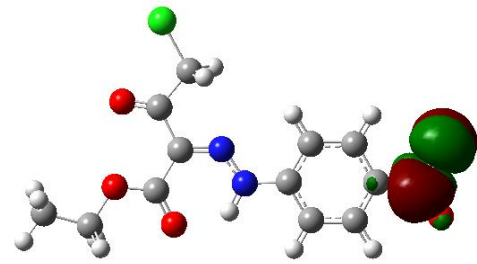
Şekil 2. İncelenen kristalin X-ışını saçılmasından kaynaklanan geometri (mavi) ile YFK yöntemi kullanılarak belirlenen optimize geometrinin (kırmızı) üst üste örtüşmesini gösteren çizim (RMSE = 0,200 Å).

3.2. Sınır Moleküler Orbitaleri

Optimize yapıya ait HOMO, LUMO enerjisi ve enerji aralığı sırasıyla -6.991 eV, -3.158 eV ve 3.833 eV olarak hesaplanmıştır. İncelenen molekülün HOMO ve LUMO orbitalleri Şekil 3'te verilmiştir. Elektrofilik indeksi 6.718 eV, elektron çekme gücü 5.075 eV iken maksimum yük transfer parametresi ise 1.324 olarak hesaplanmıştır. Yüksek enerji aralığı yapının yüksek sertlik 1.917 eV ve düşük yumuşaklık 0.261 (eV)^{-1} verilerine sahip olması ile düşük kimyasal aktivite ve yüksek kinetik kararlılık ile kimyasal aktiviteye yatkın olmayan ve oldukça kararlı bir yapı olduğu öngörülmektedir.



(a) Optimize yapının HOMO görünümü



(b) Optimize yapının LUMO görünümü

Şekil 3. İncelenen moleküle ait HOMO LUMO yüzey görünümü.

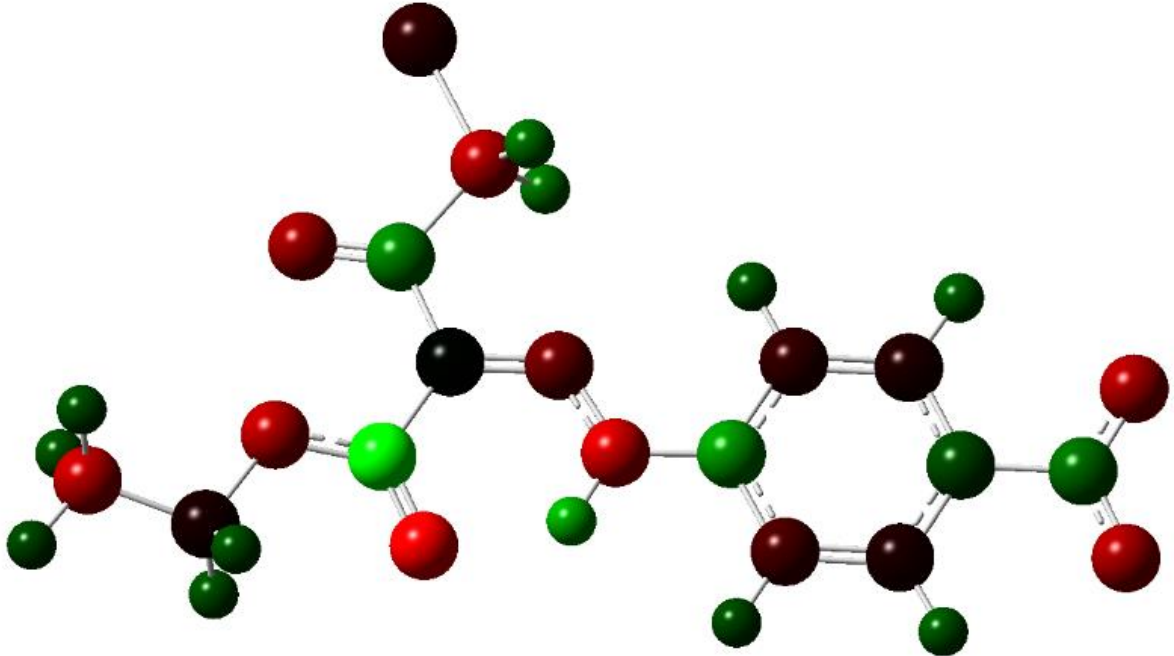
3.3. Mulliken Popülasyon (MP) Analizi

İncelenen moleküle ait her bir atomun net yükleri Tablo 2’de verilmiştir. En pozitif yükler C1, C6, C8, C9, C10, N3 ve tüm hidrojen atomları üzerinde, en negatif yükler ise C2, C3, C4, C5, C7, C11, C12, C11, N1, N2, O1, O2, O3, O4 ve O5 atomları üzerinde yerleşmişlerdir. Elde edilen atomik yükler arasında, H1 atomunun diğer hidrojen atomlarından daha büyük bir pozitif atom yüküne sahip olduğu gözlenmiştir ($0.242014e$). Bu analiz sonuçlarına göre çalışılan molekülün elektrofilik doğası, nükleofilik ve nötr doğaya karşı daha baskın olduğu görülmektedir.

Tablo 2. Mulliken popülasyon yükleri.

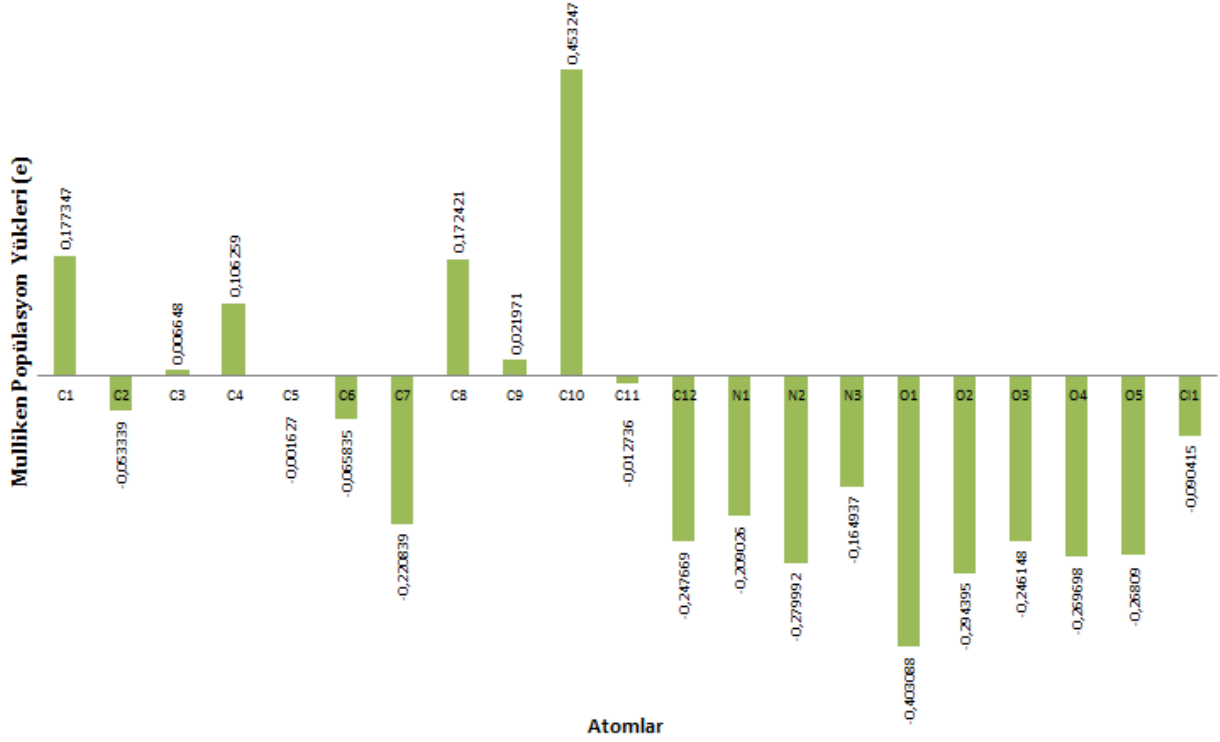
| Atomlar | MP Yükleri (e) | Atomlar | MP Yükleri (e) |
|---------|----------------|---------|----------------|
| C1 | 0.249183 | O3 | -0.250360 |
| C2 | -0.088261 | O4 | -0.298934 |
| C3 | -0.069735 | O5 | -0.259568 |
| C4 | -0.087131 | C11 | -0.078325 |
| C5 | -0.063722 | H1 | 0.242014 |
| C6 | 0.124147 | H2 | 0.112658 |
| C7 | -0.296187 | H3 | 0.092597 |
| C8 | 0.222102 | H5 | 0.110485 |
| C9 | 0.032118 | H6 | 0.095528 |
| C10 | 0.447111 | H7A | 0.172980 |
| C11 | -0.049785 | H7B | 0.172647 |
| C12 | -0.311229 | H11A | 0.118702 |
| N1 | -0.184300 | H11B | 0.122773 |
| N2 | -0.351554 | H12A | 0.108957 |
| N3 | 0.180687 | H12B | 0.113287 |
| O1 | -0.380385 | H12C | 0.097437 |
| O2 | -0.300715 | | |

En negatif yükün O1 atomu üzerinde olması yapının N-H...O hidrojen bağı yaptığını öngörmektedir. Atomların Mulliken yük renk dağılım görünümü Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 4. Optimize yapının Mulliken yük renk dağılım görünümü.

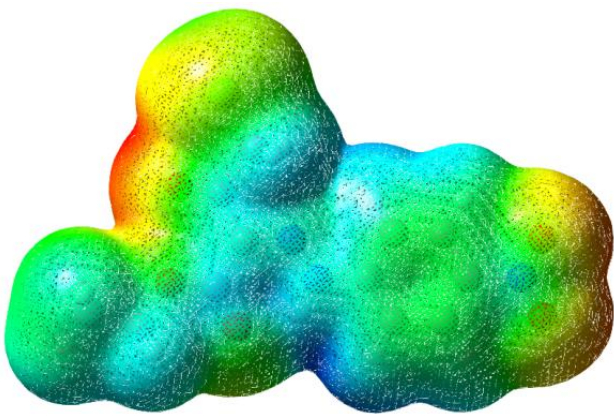
Hidrojen atomları hariç diğer atomlara karşılık gelen Mülliken popülasyon yük değerleri grafiği Şekil 5’de verilmiştir.



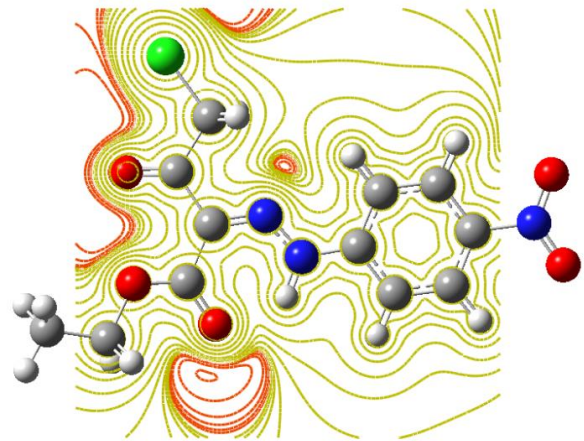
Şekil 5. Hidrojenler hariç molekülün Mulliken popülasyon yükleri (e).

3.4. Moleküler Elektrostatik Potansiyel (MEP)

Kırmızı ile kodlanmış olarak görülen ve en yoğun oksijen atomlarının çevresinde yerleşmiş olan bölgeler hidrojen bağlarının oluşumunda aktif olan ve elektrofilik yatkınlığı fazla olan bölgeleri temsil etmektedir. Bu bölge moleküller arası bağların güçlü olduğu paketlenmede etkin bölgeleri gösterdiği öngörülmektedir. Nükleofilik doğanın baskın olduğu bölgeler ise hidrojen atomlarının yoğun olduğu bölgelerde yerleşmiş konumda bulunmaktadır. Sarıya yakın renkte olan kısımlarda ise benzen halkası ve Cl atomunun elektrofilik bölgeyi baskılamasından kaynaklanan bir kayma olarak gözlenmiştir. Moleküle ait MEP ve MEP kontör yüzeyi Şekil 6'da verilmiştir. MEP kontör yüzeyinde ise elektron yoğunluğunun iki boyutlu yüzey eğrileri şeklinde verilmiş gösterimi mevcuttur. MEP kontör haritaları elektrostatik potansiyeller gibi sabit yoğunluk veya parlaklık çizgilerini göstermek için kullanılır ve moleküler düzlemde çizilir. Elektron açısından zengin bölgeler genellikle kırmızı çizgilerle temsil edilirken, oksijen atomları etrafında ve zayıf molekül içi bağların olduğu azot atomları çevresinde lokalize olurlar. Elektron eksikliği olan bölgeler ise hidrojen atomlarının yoğun olduğu bölgelerde yeşilimsi sarı çizgilerle gösterilir.



(a) Optimize yapısının MEP görünümü

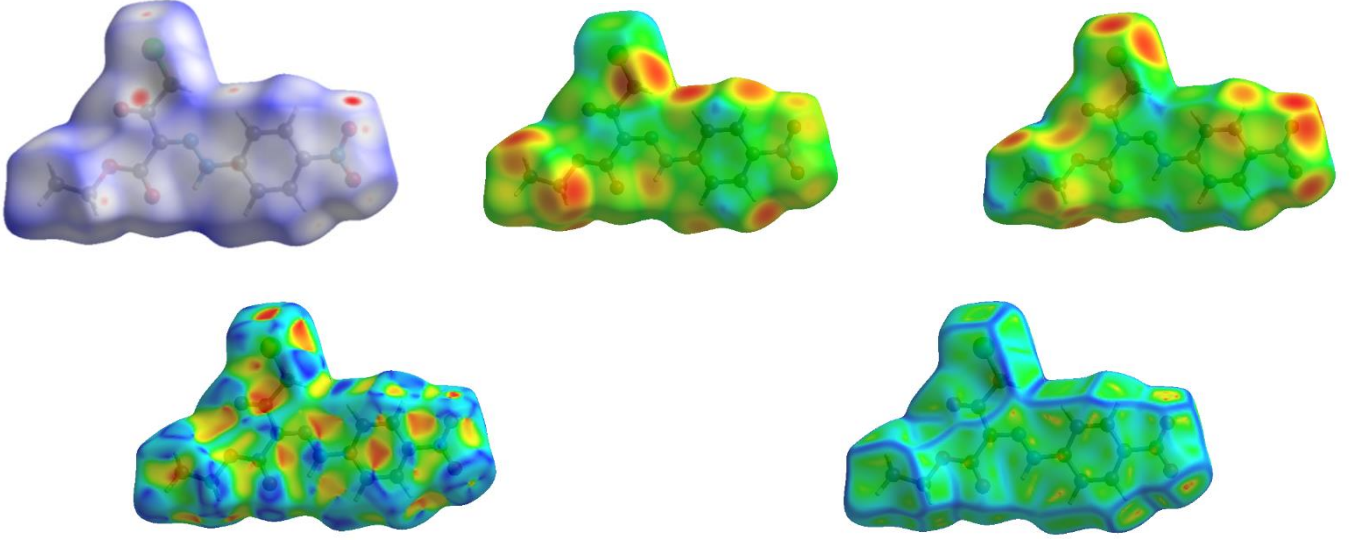


(b) Optimize yapısının MEP kontör görünümü

Şekil 6. İncelenen moleküle ait MEP VE MEP kontör görünümü.

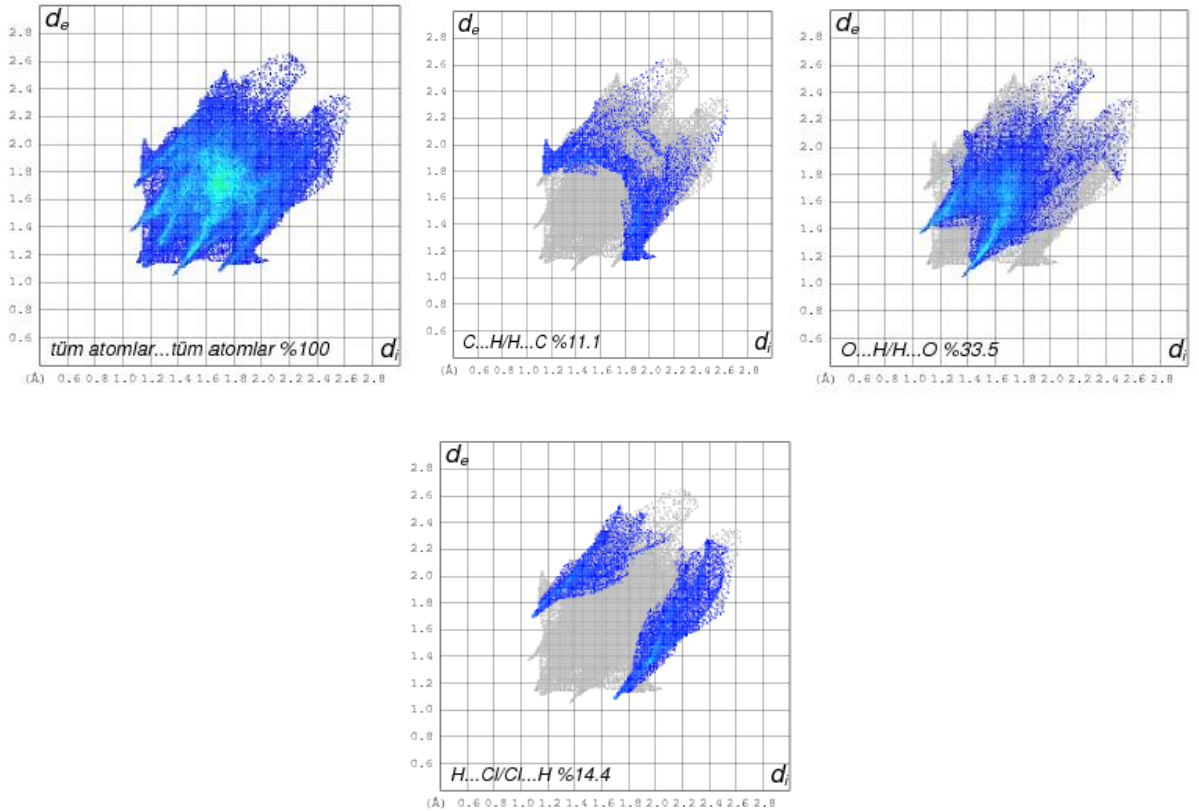
3.5. Hirshfeld YüzeY Analizi

Çalışılan moleküle ait d_{norm} , d_i , d_e , yüzeY indeks ve eğrilik indeksine ait haritalar Şekil 7’de verilmiştir. d_{norm} , d_i , d_e yüzeYlerine ait indisler sırasıyla -0.1302 ile 1.4650, 1.0551 ile 2.6395 ve 1.0582 ile 2.6584 aralığında elde edilmiştir. Şekil indeksi ve eğrilik indeksi ise sırasıyla -1 ile 1 ve -4 ile 4 aralığında gözlenmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. İncelenen moleküle ait sırasıyla d_{norm} , d_i , d_e , yüzeY ve eğrilik indeksi Hirshfeld yüzeY haritaları görünümü.

Şekil indeksi ise moleküller arasında düzlemsel olarak meydana gelen $\pi \cdots \pi$ etkileşmelerini betimler. Bu etkileşimler, Hirshfeld yüzeyinin şekil indeksinde kırmızı ve mavi renkli birbirine bitişik üçgenler ile temsil edilir. İncelenen yapıya ait 2-boyutlu parmak izi bölgesi haritası Şekil 8’de görülmektedir. Toplam Hirshfeld yüzeyine ait en büyük katkılar $O \cdots H/H \cdots O$ (%33.5), $C \cdots H/H \cdots C$ (%11.1) ve $Cl \cdots H/H \cdots Cl$ (%14.4) etkileşimlerine aittir. Bu etkileşimler atom-atom arası yüzde etkileşimlerini temsil etmektedir.



Şekil 8. İncelenen molekülün atomlar arası etkileşimlerini gösteren 2D-parmak izi görünümü.

3.6. Nonlineer optik (NLO) Özellikleri

NLO özelliklere sahip bileşikler, sinyal işleme, optik bağlantı malzemeleri ve telekomünikasyon gibi birçok alanda uygulama potansiyeline sahip olmaları nedeniyle, kuantum tabanlı araştırmaların büyük önem taşıdığı kabul edilmektedir [17]. Dipol momenti (μ_d), ortalama polarizebilite (α) ve birim hacim başına düşen ikinci dereceden elektriksel duyarlılığı ifade eden birinci dereceden statik toplam moleküler hiperpolarizebilite (β) ifadeleri aşağıda verildi:

$$\mu_d = (\mu_x^2 + \mu_y^2 + \mu_z^2)^{1/2} \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{1}{3}(\alpha_{xx} + \alpha_{yy} + \alpha_{zz}) \quad (2)$$

$$\beta = (\beta_x^2 + \beta_y^2 + \beta_z^2)^{1/2} \quad (3)$$

Doğrusal olmayan optik özellikler, moleküller arasında gerçekleşen yük transferinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, hidrojen bağları molekülün doğrusal olmayan optik özelliklerinin ayarlanmasında önemli bir role sahiptir. Polarizabilite ve hiperpolarizabilite tensörleri ($\alpha_{xx}, \alpha_{xy}, \alpha_{yy}, \alpha_{xz}, \alpha_{yz}, \alpha_{zz}$ ve $\beta_{xxx}, \beta_{xxy}, \beta_{xyy}, \beta_{yyy}, \beta_{xxz}, \beta_{xyz}, \beta_{yzz}, \beta_{xzz}, \beta_{yzz}, \beta_{zzz}$), Gaussian'ın frekans işlemi çıktısı dosyası kullanılarak elde edilebilir (Tablo 3).

Tablo 3. Bileşiğin gaz fazında hesaplanan dipol moment (D) değeri ve polarizebilite ile hiperpolarizebilite bileşenleri (a.u.).

| | | | |
|---------------|-------------|---------------|--------------|
| μ_x | -1.1717702 | β_{xxx} | 1885.1599596 |
| μ_y | -1.659038 | β_{xxy} | 440.5445522 |
| μ_z | 0.4773463 | β_{xyy} | -453.8806217 |
| | | β_{yyy} | -46.696185 |
| α_{xx} | 362.2451541 | β_{xxz} | 28.0864525 |
| α_{xy} | -5.6438095 | β_{xyz} | 12.6825027 |
| α_{yy} | 195.6667178 | β_{yyz} | -9.3290855 |
| α_{xz} | 5.3916331 | β_{xzz} | -21.3247955 |
| α_{yz} | 3.7419512 | β_{yzz} | -13.655867 |
| α_{zz} | 90.1549421 | β_{zzz} | 44.0132908 |

Çalışılan molekül için dipol momenti 5.3026 D, ortalama doğrusal polarizebilite 27.7425066 Å³ ve hiperpolarizebilite değeri 12.62270 x 10⁻³⁰ cm⁵.e.s.u.⁻¹ olarak hesaplanmıştır (Tablo 4). Üre, NLO özelliklerinin çalışılmasında yaygın olarak kullanılan bir referans moleküldür ve karşılaştırmalı amaçlar için genellikle bir eşik değeri olarak kullanılır. Bu çalışmada; Sun ve arkadaşları (2009) tarafından B3LYP/6-31G(d) yöntemiyle elde edilen üre değerleri ($\mu_d = 1.3732$ D, $\alpha = 3.8312$ Å³ ve $\beta = 3.7289 \times 10^{-31}$ cm⁵.e.s.u.⁻¹) ile karşılaştırma yapılmıştır [18]. Hesaplanan dipol moment, ortalama doğrusal polarizebilite ve hiperpolarizebilite değerleri üre değerlerinden sırasıyla 3.86, 7.24 ve 33.85 kat daha büyük bulunmuştur. Bu da bu molekül grubunun NLO malzemesi için etkili bir aday olabileceğini öngörmektedir.

Tablo 4. Bileşiğin gaz fazında hesaplanan toplam dipol moment, ortalama doğrusal polarizebilite ve hiperpolarizebilite değerleri.

| | |
|---|------------------------------|
| Toplam Dipol Moment (μ_{tot}), (D) | 5.3026 |
| Ortalama Doğrusal Polarizebilite (α), (Å ³) | 27.7425066 |
| Hiperpolarizebilite (β), (cm ⁵ .e.s.u. ⁻¹) | 12.62270 x 10 ⁻³⁰ |

3.7. Termodinamik Özellikleri

YFK, termodinamik özelliklerin tahmininde kullanılan bir yöntemdir ve bu özellikler arasında entalpi, entropi ve ısı kapasitesi gibi değerler yer almaktadır. Bu özellikler, kimyasal reaksiyonların oluşumu, termodinamik kararlılık ve reaksiyonun çevresel koşullara duyarlılığı hakkında önemli bilgiler sağlar. Farklı sıcaklık aralıklarında bu değerlerin incelenmesinin amacı, molekülün o sıcaklık aralığında nasıl davrandığını anlamaktır. Özellikle, düşük sıcaklıklarda molekülün hareketinin dönme ve translasyona bağlı olduğu, yüksek sıcaklıklarda ise titreşimlere bağlı olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, molekülün termodinamik davranışını farklı sıcaklıklarda anlamak için ısı kapasitesi, entalpi ve entropi değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimlerinin incelenmesi önemlidir.

Bu çalışmada titreşim analiziyle elde edilen teorik harmonik frekanslar kullanılarak ısı kapasitesi [Cv(T)], entropi [S(T)] ve entalpi değişimi [H(T)] gibi statik termodinamik fonksiyonlar hesaplanmış ve bu değerler Tablo 5'de listelenmiştir. Tablodan

açıkça görülmektedir ki, standart termodinamik fonksiyonlar, moleküler titreşim yoğunluğunun sıcaklık artışıyla birlikte artmasından dolayı, 100 ile 1000 K arasındaki herhangi bir sıcaklıkta artış göstermektedir.

Tablo 5. İncelenen bileşiğin 100 ile 1000 K arasındaki termodinamik parametreleri.

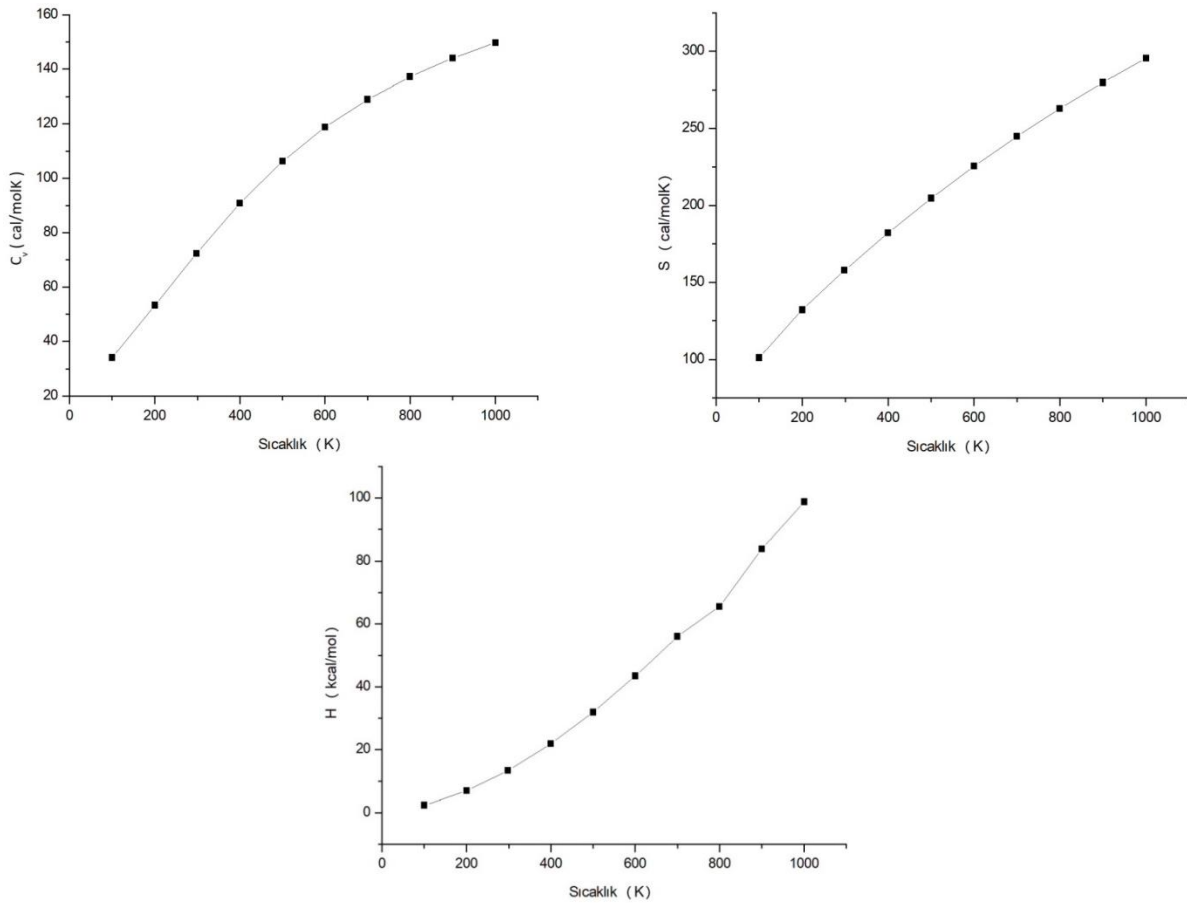
| Sıcaklık (K) | C_v (cal/molK) | S (cal/molK) | H (kcal/mol) |
|--------------|------------------|----------------|----------------|
| 100 | 34.170 | 101.110 | 2.394 |
| 200 | 53.312 | 132.076 | 6.971 |
| 298.15 | 72.305 | 157.696 | 13.330 |
| 400 | 90.837 | 182.174 | 21.861 |
| 500 | 106.285 | 204.603 | 31.940 |
| 600 | 118.831 | 225.493 | 43.418 |
| 700 | 128.957 | 244.905 | 56.024 |
| 800 | 137.211 | 262.947 | 65.545 |
| 900 | 144.027 | 279.748 | 83.815 |
| 1000 | 149.7720 | 295.436 | 98.710 |

Isı sığası, entropi, entalpi ve sıcaklık arasındaki ilişkilerin belirlenmesi için kuadratik formüller kullanılarak korelasyon denklemleri elde edildi. Bu termodinamik özellikler için uyum faktörleri (R^2) sırasıyla 0.99966, 0.99979 ve 0.99886 olarak bulundu. Elde edilen korelasyon grafikleri Şekil 9'da görselleştirildi.

$$C_v(T) = 10.13078 + 0.24199T - 1.02923 \times 10^{-4}T^2 \quad R^2 = 0.99966 \quad (4)$$

$$S(T) = 73.16666 + 0.30463T - 8.32425 \times 10^{-5}T^2 \quad R^2 = 0.99979 \quad (5)$$

$$H(T) = -2.38424 + 0.0353T + 6.59336 \times 10^{-5}T^2 \quad R^2 = 0.99886 \quad (6)$$



Şekil 9. İncelenen moleküle ait teorik olarak hesaplanan termodinamik özelliklerinin sıcaklıkla değişimi.

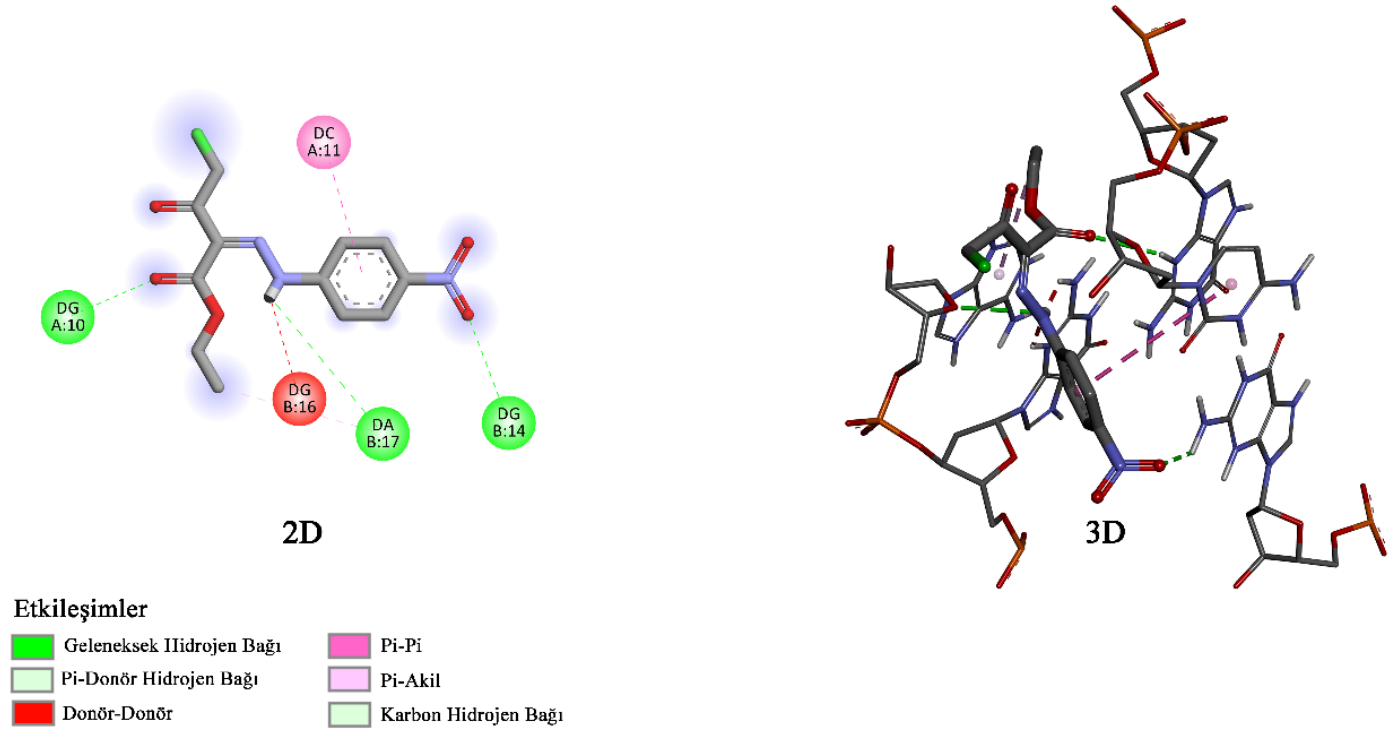
3.8. Moleküler Kenetleme Çalışması

DNA ve etil 4-kloro-2-[(4-nitrofenil)hidrazono]-3-oksobütirat bileşiğinin serbest bağlanma enerjisi hesaplanmıştır (Tablo 6). DNA ile bileşik arasında tahmin edilen serbest bağlanma enerjisi $-4.01 \text{ kcal.mol}^{-1}$ olarak bulunmuştur. İnhibisyon sabiti, (1.15 mM) olarak hesaplandı. İnhibisyon sabiti, bir bileşiğin bir enzimi nasıl inhibe edeceğini ve enzim için bir substrat ile nasıl etkileşime girebileceğini öngördüğü için çok önemlidir. İnhibisyon sabiti ne kadar düşükse, iyon ile reseptör antijeni arasında bir kimyasal reaksiyon olasılığı o kadar yüksektir. Bu nedenle enzim aktivitesini inhibe etmek için daha az ilaca ihtiyaç duyulur [19].

Tablo 6. Ligand-protein etkileşimi için moleküler yerleştirme enerji değerleri.

| | |
|--|-------|
| Afinite (kcal.mol^{-1}) | -6.90 |
| Tahmini serbest bağlanma enerjisi (kcal.mol^{-1}) | -4.01 |
| Tahmini inhibisyon sabiti, K_i (mM) | 1.15 |
| vdW+Hbağı+çözölmüş enerji (kcal.mol^{-1}) | -6.01 |
| Elektrostatik enerji (kcal.mol^{-1}) | -0.39 |
| Final toplam iç enerji (kcal.mol^{-1}) | -0.99 |
| Burulma serbest enerjisi (kcal.mol^{-1}) | +2.39 |
| Bağlanmamış sistemin enerjisi (kcal.mol^{-1}) | -0.99 |

Bileşiğindeki karbonil ve nitrik oksit gruplarının O atomları, H-bağı etkileşimi yoluyla sırasıyla DNA'daki A:DG10 ve B:DG14 nükleotitleri ile etkileşime girer (Şekil 10).



Şekil 10. Etil 4-kloro-2-[(4-nitrofenil)hidrazono]-3-oksobütirat ve DNA boşluğuna en uygun bağlanmasının 2D ve 3D gösterim.

Ayrıca bileşik ile DNA arasında π -alkil ve π - π gibi kovalent olmayan etkileşimler bulunur (Tablo 7).

Tablo 7. En kararlı DNA (ID:1BNA) ile bileşiğin etkileşimlerinin ayrıntıları.

| Uzaklık(Å) | Bağlanma Tipi | Alıcı Bağlanma Bölgesi | Bileşiğin Bağlanma Bölgesi | Bağlanma Modu |
|------------|-----------------|------------------------|----------------------------|--|
| 2.47412 | H-Bağı | A:DG10:H3 | :UNK0:O | H-Verici→ H-Alıcı |
| 2.45780 | H-Bağı | B:DG14:H22 | :UNK0:O | H-Verici→ H-Alıcı |
| 3.02046 | H-Bağı | B:DA17:O4' | :UNK0:HN | H-Verici→ H-Alıcı |
| 5.82812 | Pi-Pi T-şekilli | A:DC11 | :UNK0 | π -Orbitalleri→ π -Orbitalleri |
| 5.33310 | Pi-Akil | B:DA17 | :UNK0:C | π -Orbitalleri→ π -Akil |

3.9. ADME ve Toksikoloji

İlacın insanlar üzerinde etki mekanizması ve farmakokinetik özelliklerini inceler. İlaç, düzgün dağılmalı, yavaş metabolize edilmeli ve doğru ve zararsız bir şekilde atılmalıdır. ADME özellikleri zayıfsa, o ilaç muhtemelen başarısız olmuştur [20]. Lipinski'nin beş kuralı ile ilaç benzeri özelliklere sahip olup ve olmadığını ayırt etmek için önemlidir [21]. Lipinski'nin beş kuralı şu şekildedir;

- (1) Molekül ağırlığı 500g/mol'den az olmalı,
- (2) LogP değeri 5'ten küçük olmalı,
- (3) H-bağı alıcı sayısı 5'ten az olmalı,
- (4) H-bağı verici sayısı 5' ten az olmalıdır 10,
- (5) Molar refraktivite 40 ile 130 arasında olmalıdır.

Bu kurallardan iki veya daha fazlasına uyan bileşikler yüksek ilaç benzerliğine sahiptir. İki'den az ise, daha az ilaç benzerliği gösterirler.

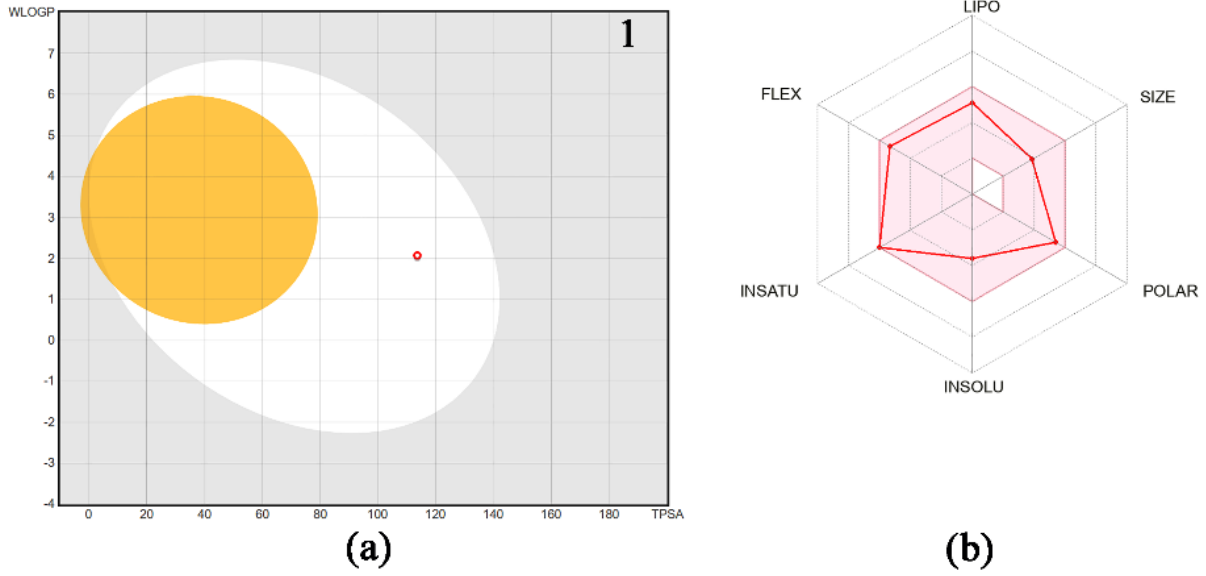
Bu çalışmadaki bileşik de Lipinski'nin beş kuralına göre değerlendirildiğinde, beş kurala uyar (ihlal yoktur). Bileşiğin fizikokimyasal özellikleri, ilaca benzerliği ve farmakokinetik özellikleri Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. Bileşiklerin SwissADME tahmini ile fizikokimyasal özellikleri, ilaca benzerliği ve farmakolojik özellikleri.

| Fizikokimyasal Özellikler | | İlaç Özellikleri | | Farmokinetik Özellikler | |
|---------------------------|--------|------------------|------|-------------------------|--------|
| MA | 313.69 | WLogP | 2.07 | GI | yüksek |
| H-A | 6 | ILOGP | 1.85 | BBB | hayır |
| H-D | 1 | XLOGP3 | 3.40 | P-gp substrat | hayır |
| TPSA | 114 | SA | 2.97 | CYP1A2 | evet |
| Dönebilen bağlar | 8 | LogS | 3.83 | inhibitör | evet |
| MR | 78.57 | | | CYP2D6 | hayır |
| Kırılma $C(sp^3)$ | 0.25 | | | inhibitör | hayır |
| N(atomlar) | 21 | | | Log K_p | -5.80 |

MA=Moleküler ağırlık ($g.mol^{-1}$); H-A=H-bağı alıcı sayısı; H-D=H-bağı verici sayısı; LogS= Çözünürlük; TPSA=Toplam polar yüzey alanı; MR=Molar kırılma; N atoms=Atom sayısı; WLogP, ILOGP, XLOGP3=Lipofiliklik; SA=Sentetik erişilebilirlik; GI=Gastrointestinal; BBB=Kan beyin bariyeri; P-gp=P-glikoprotein; CYP1A2=Sitokrom P450 ailesi 1 alt aile A üyesi 2 (PDB: 2HI4); CYP2D6=Sitokrom P450 ailesi 2 alt aile D üyesi 6 (PDB:5TFT); Log K_p =Cilt geçirgenliği ($cm.s^{-1}$).

Bileşiğin kan-beyin penetrasyonu (BBB) ve gastrointestinal absorpsiyon (GI) özellikleri BOILED-Egg (The Brain Or Intestinal EstimateD) permeasyon yöntemi ile incelenmiştir. Bu yöntem, ilaç keşfi ve geliştirilmesinde önemlidir. Bileşiğin BOILED-Egg radarı Şekil 11.a'da gösterilmiştir. Sarı (sarı) bölge, gastrointestinal sistemin yüksek emilimini temsil ederken, beyaz bölge, kan-beyin bariyerine erişilebilirliği temsil eder. Nokta sarı bölgedeyse bileşik, merkezi sinir sistemine (CNS) ilaç taşınmasında sorun yaşayan kan beyin bariyerini (BBB) geçebilir [22]. Sarı bölgedeki kırmızı nokta, bileşiklerin beyinde p-glikoproteinden etkilenmeden kalabileceğini göstermektedir. Bileşiklerin P-gp (kırmızı nokta) olmayan bir substrat olduğu tahmin edilmektedir.



Şekil 11. Bileşiğin (a) BOILED-Egg radarı (b) Radar grafiği [LIPO: Lipofilite (WLogP), BOYUT: Moleküler Ağırlık (MW), POLAR: Polarite (TPSA), INSOLU: Çözünmezlik (LogS), INSATU: Doymunluk (Fraction Csp³), FLEX: Esneklik (Dönebilen bağlar)].

Bileşiklerin radar grafiği, molekülün çözünürlüğü, doymamışlığı, esnekliği, lipofilikliği, boyutu ve polaritesi makul sınırlar içinde olduğu için oral kullanıma uygun olduğunu göstermektedir (Şekil 11.b). Bileşiğin ILOGP değeri 1.85 olarak bulundu. Değer 5'ten küçük olduğu için bu bileşik lipofilik karaktere sahiptir, bu nedenle hücre zarından kolayca geçebilir ve yağda çözülerek kullanılabilir. Bileşik, yüksek bir GI emilimine sahiptir ve ayrıca kan beyin bariyerini geçebilir. Ayrıca sitokrom enzimlerinin hiçbirini inhibe etmeyeceği ve p-gp için bir substrat olmayacağı tahmin edilmiştir. Bileşik cilt yoluyla ortalama - 5.80 cm.s⁻¹ hızında emilebilir. TPSA değeri 114 Å² olarak bulunmuştur. Buna göre bileşiğin oldukça arzu edilen bir polar yüzey alanına sahip olduğu söylenebilir. Bu özellikler, bileşiğin yan etkiler açısından herhangi bir soruna yol açmayacağını göstermektedir. Yan etkilerinin araştırılması için daha ileri çalışmalara ihtiyaç duyulsa da bu *in-silico* çalışmada, bileşiğin ADME sonuçları açısından daha az yan etkiye sahip ilaç olabileceği söylenebilir.

Bileşiğin LD₅₀ değeri, ProTox-II sunucusu kullanılarak 300 mg/kg olarak bulundu. LD₅₀ değeri ne kadar düşüğe öldürücü değer o kadar yüksektir. Bileşiğin yutulması halinde zararlı olabilecek sınıf 3'tedir (50<LD₅₀≤300). Bileşikte hepatotoksisite, kanserojenlik, immünotoksisitesi, hepatotoksisitesi ve sitotoksisitesi inaktif bulunurken, mutajenite aktif olduğu bulundu.

96h şişko-kafalı minnow LC₅₀ değerleri, sudaki kimyasal bileşiğin 96 saat sonra şişko-kafalı minnow'un %50'sini öldüreceği anlamına gelir. Oral sıçan LD₅₀ değeri (mg.kg⁻¹ vücut ağırlığı), oral alımdan sonra farelerin %50'sinin ölmesi için ne kadar kimyasal bileşik gerektiğini ifade eder. Bileşiğin bu değerleri, T.E.S.T yazılımı kullanılarak hesaplandı ve Tablo 9'da listelendi.

Tablo 9. T.E.S.T ve Pro-TOX II ile hesaplanan toksisite tahmin değerleri ve sonuçları.

| Akut Toksiklik | | Gelişmiş Toksiklik | | Mutajenite | |
|--|--|---------------------------|------------------|---------------|---|
| Oral fare LD ₅₀ (mg.kg ⁻¹) | Şişko kafalı minnow LC ₅₀ (96 h) (mg.L ⁻¹) | Tahmini değer | Tahmini sonuçlar | Tahmini değer | Tahmini sonuçlar |
| 1012.08 | 1.88 | 0.79 | toksik | 0.73 | Pozitif |
| Organ Toksitesi | | Toksosite Bitiş Noktaları | | | |
| Hepatotoksisite | Kanserojenlik | İmmünotoksisite | Mutajenite | Sitotoksisite | LD ₅₀ (mg.kg ⁻¹) |
| İnaktif | İnaktif | İnaktif | Aktif | İnaktif | 300 |

4. Sonuçlar

Bu çalışmada daha önceden sentezi yapılmış ve X-ışınları kırınımı analizi ile yapısı aydınlatılmış olan molekül grubunun kimyasal aktivite hesaplamaları yoğunluk fonksiyonel kuramını kullanılarak gerçekleştirildi. Bu kapsamda X-ışını kırınımı sonucunda elde edilen geometrik parametreler YFK/B3LYP/6-311G(d,p) baz seti kullanılarak elde edilen geometrik parametreler ile karşılaştırıldı. Hesaplamalar sonucunda kuramsal hesaplamalar sonucunda elde edilen geometrik parametrelerin X-ışını kırınımı ile elde edilen verileri başarılı bir şekilde temsil ettiği gözlemlendi.

Molekülün düşük kimyasal aktivite ve yüksek kinetik kararlılık ile oldukça kararlı olduğunu öngörmektedir. Moleküler elektrostatik potansiyel haritası ve Mulliken yük analizi ile yapının elektrofilik ve nükleofilik doğası incelendi. Bu çalışma kapsamında incelenen molekül grubu için kimyasal aktivite parametre verileri ile elektrofilik ve nükleofilik doğasının hangi bölgelerde yoğunlaştığının incelenmesi açısından önemli olduğu düşünülmektedir. Bu çalışmada, incelenen yapının dipol momenti, polarizabilite ve hiperpolarizabilite değerleri hesaplanmış ve bu değerler yüksek optik özelliklere sahip bir referans madde olan üre ile karşılaştırmıştır. Gaz fazında incelenen molekülün hiperpolarizabilite değeri, üre ile kıyaslandığında 33.85 kat daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bunlara ek olarak termodinamik parametreler, kimyasal süreçlerin anlaşılmasında büyük öneme sahiptir. Bu çalışmada, bileşik için 100 ila 1000 K arasındaki sıcaklıklarda ısı kapasitesi, entropi ve entalpi korelasyon denklemleri elde edilmiştir. Termodinamik parametre sonuçları, sıcaklığın artmasıyla birlikte moleküler titreşimlerin yoğunluğunun arttığını göstermektedir. İlaç benzeri sonuçlar, iyi bir fizikokimyasal profile sahip olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar, gelecekte ilaç geliştirme çalışmaları için kullanılabilir. Kimyasal aktivite hesaplamalarının tersine ilaç benzeri çalışmalarda bileşiğin aktif rol oynayacağı öngörüldü. Bu ise kimyasal etkileşimde tek etkenin bu parametre verilerinin olmadığını sonucuna götürmüştür. Bileşiğin toksikolojik değeri toksiklik sınırında kalmıştır. Toksiklik açısından bakıldığında ilaç için iyi bir aday olduğu söylenemez. Ancak bileşiğin hem DNA'ya bağlanma skoru hem de ilaç özellikleri makul sınırlardadır.

Bu çalışmanın sonuçlarının, ileriki araştırmalarda araştırmacılara yeni materyal tasarımı ve sentezleme süreçlerinde rehberlik edeceği öngörülmektedir.

Referanslar

- [1] J. Pisk *et al.*, "Pyridoxal hydrazonato molybdenum(vi) complexes: assembly, structure and epoxidation (pre)catalyst testing under solvent-free conditions," *Rsc Adv*, 10.1039/C4RA08179J vol. 4, no. 73, pp. 39000-39010, 2014, doi: <https://doi.org/10.1039/C4RA08179J>.
- [2] O. Pouralimardan, A.-C. Chamayou, C. Janiak, and H. Hosseini-Monfared, "Hydrazone Schiff base-manganese(II) complexes: Synthesis, crystal structure and catalytic reactivity," *Inorganica Chimica Acta*, vol. 360, no. 5, pp. 1599-1608, 2007/04/01/ 2007, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ica.2006.08.056>.
- [3] M. Bakir, O. Green, and W. H. Mulder, "Synthesis, characterization and molecular sensing behavior of [ZnCl₂(η³-N,N,O-dpkbh)] (dpkbh=di-2-pyridyl ketone benzoyl hydrazone)," *Journal of Molecular Structure*, vol. 873, no. 1, pp. 17-28, 2008/02/17/ 2008, doi: <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2007.03.001>.
- [4] M. Alagesan, N. S. P. Bhuvanesh, and N. Dharmaraj, "Potentially cytotoxic new copper(ii) hydrazone complexes: synthesis, crystal structure and biological properties," *Dalton Transactions*, 10.1039/C3DT50371B vol. 42, no. 19, pp. 7210-7223, 2013, doi: <https://doi.org/10.1039/C3DT50371B>.
- [5] I. M. Kapetanovic, "Computer-aided drug discovery and development (CADD): In silico-chemico-biological approach," *Chemico-Biological Interactions*, vol. 171, no. 2, pp. 165-176, 2008/01/30/ 2008, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2006.12.006>.
- [6] N. Aydin and E. K. DOĞAN, "Focusing on the Structural, Electronic, Optic and Elastic Behaviours of RhBiSe Compound by Ab initio Calculations," *International Scientific and Vocational Studies Journal*, vol. 6, no. 1, pp. 13-21, 2022.
- [7] M. Odabaşoğlu, Ö. Özdamar, and O. Büyükgüngör, "Ethyl 4-chloro-2-[(4-nitro-phen-yl)hydrazone]-3-oxobutyrate," *Acta Crystallographica Section E*, vol. 61, no. 7, pp. o2068-o2070, 2005/07/01 2005, doi: <https://doi.org/10.1107/S1600536805017629>.
- [8] *Gaussian 09, Revizyon A.02.* (2009). Wallingford CT. [Online]. Available: <https://gaussian.com/>
- [9] *CrystalExplorer17.* (2017). The University of Western Australia Perth, WA, Australia.
- [10] O. Trott and A. J. Olson, "AutoDock Vina: improving the speed and accuracy of docking with a new scoring function, efficient optimization, and multithreading," *Journal of computational chemistry*, vol. 31, no. 2, pp. 455-461, 2010, doi: <https://doi.org/10.1002/jcc.21334>.
- [11] D. S. BIOVIA, "BIOVIA Discovery Studio Visualizer, v16. 1.0. 15350, San Diego: Dassault Systemes; 2015 [cited: 2017 Mar 20]," ed.
- [12] A. Daina, O. Michielin, and V. Zoete, "SwissADME: a free web tool to evaluate pharmacokinetics, drug-likeness and medicinal chemistry friendliness of small molecules," *Sci Rep-Uk*, vol. 7, no. 1, p. 42717, 2017/03/03 2017, doi: <https://doi.org/10.1038/srep42717>.

- [13] U. Norinder and C. A. Bergström, "Prediction of ADMET properties," *ChemMedChem: Chemistry Enabling Drug Discovery*, vol. 1, no. 9, pp. 920-937, 2006, doi: <https://doi.org/10.1002/cmdc.200600155>.
- [14] P. Banerjee, A. O. Eckert, A. K. Schrey, and R. Preissner, "ProTox-II: a webserver for the prediction of toxicity of chemicals," *Nucleic acids research*, vol. 46, no. W1, pp. W257-W263, 2018, doi: <https://doi.org/10.1093/nar/gky318>.
- [15] P. Banerjee, F. O. Dehnbostel, and R. Preissner, "Prediction Is a Balancing Act: Importance of Sampling Methods to Balance Sensitivity and Specificity of Predictive Models Based on Imbalanced Chemical Data Sets," (in English), *Frontiers in Chemistry, Original Research* vol. 6, 2018-August-28 2018, doi: <https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00362>.
- [16] M. N. Drwal, P. Banerjee, M. Dunkel, M. R. Wettig, and R. Preissner, "ProTox: a web server for the in silico prediction of rodent oral toxicity," *Nucleic Acids Research*, vol. 42, no. W1, pp. W53-W58, 2014, doi: <https://doi.org/10.1093/nar/gku401>.
- [17] D. Sajan, H. Joe, V. S. Jayakumar, and J. Zaleski, "Structural and electronic contributions to hyperpolarizability in methyl p-hydroxy benzoate," *Journal of Molecular Structure*, vol. 785, no. 1, pp. 43-53, 2006/03/06/ 2006, doi: <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2005.09.041>.
- [18] Y.-X. Sun *et al.*, "Experimental and density functional studies on 4-(3,4-dihydroxybenzylideneamino)antipyrine, and 4-(2,3,4-trihydroxybenzylideneamino)antipyrine," *Journal of Molecular Structure: THEOCHEM*, vol. 904, no. 1, pp. 74-82, 2009/06/30/ 2009, doi: <https://doi.org/10.1016/j.theochem.2009.02.036>.
- [19] T. Aycan, F. Öztürk, T. Doruk, S. Demir, M. Fidan, and H. Paşaoğlu, "Synthesis, structural, spectral and antimicrobial activity studies of copper-nalidixic acid complex with 1,10-phenanthroline: DFT and molecular docking," *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, vol. 241, p. 118639, 2020/11/05/ 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.saa.2020.118639>.
- [20] J. Hodgson, "ADMET—turning chemicals into drugs," *Nature biotechnology*, vol. 19, no. 8, pp. 722-726, 2001, doi: <https://doi.org/10.1038/90761>.
- [21] E. Lipiński, *Semitic languages: outline of a comparative grammar*. Peeters Publishers, 2001.
- [22] F. İslamoğlu and E. Hacızafıoğlu, "Investigation of the Usability of Some Triazole Derivative Compounds as Drug Active Ingredients by ADME and Molecular Docking Properties," *Moroccan Journal of Chemistry*, vol. 10, no. 3, 2022, doi: <https://doi.org/10.48317/IMIST.PRSM/morjchem-v10i3.30855>.

A Study in Enhancing Battery Management Systems for Diverse Battery Types

Sami Melih Öztürk ^{a,1}, Ahmet Çifci ^b

^a Fen Bilimleri Enstitüsü, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Burdur, Türkiye
ORCID ID: 0009-0009-9054-7483

^b Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Burdur, Türkiye
ORCID ID: 0000-0001-7679-9945

Abstract

The rapid advancement of battery technology has led to an increasing interest in the utilization of various battery types for a wide range of applications. To optimize the performance, efficiency, and safety of these batteries, the implementation of an effective battery management system is imperative. Within the scope of this study, the battery management system responsible for overseeing the management of battery packs in electric vehicles is examined in terms of its utilization for monitoring fundamental conditions such as current, voltage, and temperature of batteries. Furthermore, the applicability of this battery management system in different types of battery packs is evaluated. With the aim of advancing the sustainability and efficiency of management systems capable of overseeing single-type batteries, the focus of attention lies in the capacity to manage diverse battery types. The developed battery management system is subject to testing on a variety of battery types, thereby investigating the methods by which these batteries can be optimally managed. The resultant data is collected within a computer-based environment, and analyses are conducted to derive findings from this information. This study illustrates the adaptability of the battery management system to varying current, voltage, and temperature parameters, enabling its effective deployment across different battery types. In this context, the potential to mitigate environmental pollution is envisioned through the implementation of more sustainable battery management systems.

Keywords: “Battery management system, electric vehicles, lithium batteries, sustainability.”

1. Giriş

Günümüzde, üç farklı çeşitte araç teknolojisi görülmektedir: İçten yanmalı motorlu araçlar, hibrit elektrikli araçlar ve tümü elektrikli araçlar [1]. Elektrik enerjisi yakıt olarak kullanıldığında ulaşım daha çevreci, daha ekonomik ve daha sessiz olmaktadır. Yaygınlaşan elektrikli araç teknolojileri ile beraber batarya yönetim sistemleri ve şarj edilebilir batarya teknolojileri üzerinde çalışılan önemli konulardan olmaya başlamıştır [2]. Batarya yönetim sistemleri, batarya ömrünü ve verimliliğini arttırmak için batarya sağlığını korumaya yönelik kullanılmakta olan batarya paketinin bir parçasıdır [3-5]. Batarya sağlığı açısından ciddi önem taşıyan değerler olan akım, gerilim ve sıcaklık gibi verileri şarj ve deşarj işlemleri sırasında kontrol ederek okur ve bu konuda batarya üzerinde müdahalelerde bulunur. Gerektiği an ve durumlarda şarj cihazından veya yükten batarya paketinin ayrılmasını sağlayarak bataryanın korunmasını sağlar [6]. Şarj ve deşarj yapılırken bataryaların hücre gerilimleri arasında farklılıklar oluşmaktadır. Batarya yönetim sistemi yapacağı gerilim dengeleme işlemi ile zamanla batarya hücre gerilimleri arasında oluşan farkı dengeler [7].

Gelecekte önem verilen çalışma alanlarından birinin bataryalar ve batarya yönetim sistemleri olacağı açık bir biçimde görülmektedir. Bu durum özellikle elektrikli araçların adedinde görülen artışla kaçınılmaz bir hal alacaktır. Otomotiv endüstrisi, şu anki araç teknolojilerinde bulunan çevre kirliliği, petrole bağımlılık, verimlilik ve enerji tüketimi benzeri sebeplerden ötürü son zamanlarda elektrikli araç teknolojilerine daha fazla yatırım yapmaya başlamıştır [8]. Elektrikli araç teknolojileri hakkındaki çalışmalara bakıldığında yaşanan sıkıntıların büyük bir kısmının bataryalar ile bağlantılı olduğu görülmektedir. Bataryaların en önemli sorunları kontrol edilmediklerinde patlama risklerinin bulunması ve sınırlı ömürleridir. Bu sorunlar çözüme kavuşturulması gereken başlıca unsurlardır. Bu sebepten ötürü bataryaların daha verimli çalışmaları ve uzun ömürlü olmaları etkili bir batarya yönetim sistemine bağlıdır [8]. Batarya yönetim sistemi sayesinde batarya sistemi daha uzun ömürlü olur ve batarya sisteminin daha güvenli ve sağlıklı bir biçimde kullanılması sağlanır. Bataryaların şarj seviyelerinin doğru bir biçimde saptanması şarj bilgisi bakımından oldukça yüksek önem göstermektedir [9].

¹ Corresponding Author
E-mail Address: s.melih.oztr@gmail.com

Bataryalardan çekilen akım miktarının belirlenmiş sınırlarına özen gösterilmesi gerekir. Bu akım miktarı, bataryanın türü ve kapasitesine bağlı olarak hem anlık hem de sürekli kullanımda değişiklik arz eder. Öte yandan, belirlenmiş sıcaklık aralıklarının dışına çıktığında, bataryaların ısınma, patlama veya ömrünün azalması gibi riskleri bulunmaktadır. Şarj ve deşarj esnasında akım değerleri sürekli olarak izlenmeli ve kontrol edilmelidir. Eğer akım değeri belirlenmiş değerlerin üstesine çıkarsa ya da altına düşerse, batarya yönetim sistemi, yükü veya şarj cihazını batarya grubundan izole etmelidir. Ayrıca, şarj ve deşarj esnasında bataryaların yüksek gerilim, yüksek akım ve yüksek sıcaklık gibi riskli durumlarla karşılaşmaması için gerekli tedbirler alınmalıdır. Özellikle yüksek gerilim riskini önlemek amacıyla, gerilim değerleri anlık olarak izlenmelidir [7]. Batarya paketinin şarj ve deşarj esnasında dikkat edilmesi gereken diğer bir husus da hücre gerilimlerinin dengelenmesi işlemidir. Seri bağlı hücrelerin şarj edilirken depoladığı enerji her bir hücre için farklılık gösterebilir, bu durum hücreler arasında gerilim farklılıklarına neden olabilir. Yüksek gerilime sahip olan hücreler, belirlenen dengeleme yöntemi kullanılarak diğer hücrelerle aynı seviyeye getirilene kadar deşarj edilir. Bu dengeleme işlemi, tüm hücrelerin gerilim seviyeleri eşit hale gelinceye kadar devam eder [10]. Batarya yönetim sistemlerinde büyük öneme sahip olan iki alt sistem bulunmaktadır: Şarj yönetim sistemi ve haberleşme alt sistemi. Batarya dengeleme yöntemi, özellikle şarj yönetim sistemlerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır ve batarya yönetim sistemlerinin etkinliğini arttırmaktadır [11].

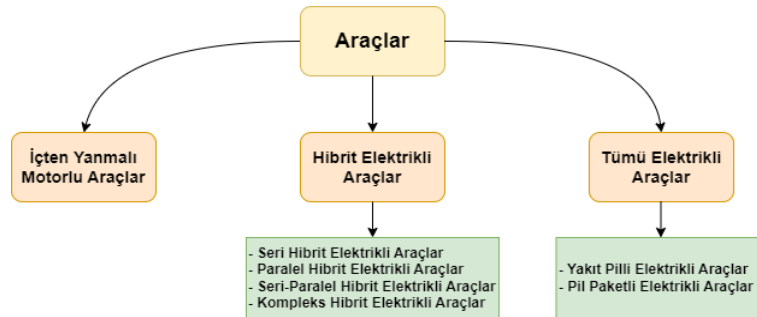
Elektrikli araçlarda birçok farklı türde pil teknolojileri kullanılmaktadır [12]. Her tür kendi içinde de alt türlere ayrılmaktadır. Bu pillerin her birinin sağlıklı çalışabilmesi için gerekli olan gerilim ve dayanabildiği sıcaklık değerleri farklıdır. Batarya yönetim sisteminin farklı tür pillerde çalışabilmesi için bu pillerin sisteme tanımlanıp bu değerlere göre önlemler alması gerekmektedir. Bu çalışmada, tasarlanan batarya yönetim sistemi devresine eklenen devre elemanları sayesinde batarya yönetim sisteminin belirlenen farklı tür piller üzerinde çalışıp çalışmayacağı araştırılmıştır.

2. Genel Bilgiler

Bu bölümde öncelikle araçlar sınıflara ayrılarak yapıları hakkında detaylı bilgiler verilecektir. Ardından elektrikli araçlarda kullanılan bataryalar ve çeşitleri anlatılacaktır.

2.1. Araçlar

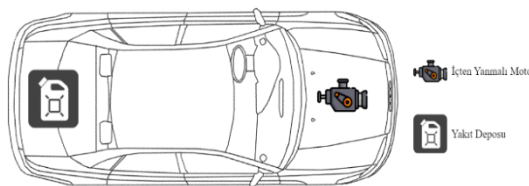
Araçlar, motor tahrik yöntemi ve enerji kaynağına bağlı olarak üç farklı sınıfa ayrılmıştır. Bu sınıflar içerisinde içten yanmalı motorlu araçlar, hibrit elektrikli araçlar ve tamamen elektrikli araçlar bulunmaktadır [13]. Şekil 1’de bu ayrım daha detaylı biçimde gösterilmektedir.



Şekil 1. Araç teknolojileri.

2.1.1. İçten Yanmalı Motorlu Araçlar

İçten yanmalı motorlu araçların yakıt deposu içerisinde yer alan fosil yakıt kullanılarak motorun çalışabilmesini sağlamak için gereken enerji sağlanır. Enerjiyi sağlayabilmek için araçlarda fosil yakıt olarak dizel, benzin ve hidrojen yakıtları kullanılmaktadır [13]. İçten yanmalı motorlu araçların yapısı Şekil 2’de verilmiştir.



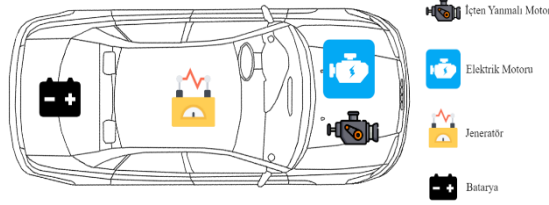
Şekil 2. İçten yanmalı motorlu araçların yapısı.

2.1.2. Hibrit Elektrikli Araçlar

Hem elektrik motoru hem de içten yanmalı motorun yardımıyla tahrik edilen araçlara hibrit elektrikli araçlar adı verilir. Bu araçların dört değişik karakteristiğe sahip olduğu bilinmektedir. Bu karakteristikler seri, paralel, seri-paralel ve kompleks şeklinde üç farklı çeşittir [14, 15].

- **Seri hibrit elektrikli araçlar**

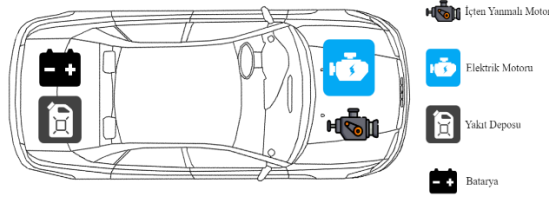
Bu tür araçlarda, içten yanmalı motor ana tahrik birimi olarak işlev görür. Bu motor sayesinde bir jeneratör çalıştırılarak enerji üretimi gerçekleştirilir. Üretilen bu enerji sayesinde elektrik motoru çalıştırılabilmekte ve pil hücrelerinin şarj olması sağlanmaktadır [14, 15]. Bu tür elektrikli araçların yapısı Şekil 3'te gösterilmektedir.



Şekil 3. Seri hibrit elektrikli araçların yapısı.

- **Paralel hibrit elektrikli araçlar**

Aracın hareketini aktarma mekanizmalarıyla birlikte elektrik motoru ve içten yanmalı motor sayesinde gerçekleştiren araçlara paralel hibrit elektrikli araçlar denmektedir. Tekerlere iletilen güç elektrik motoru ve içten yanmalı motor vasıtasıyla elde edilmektedir. Birbirine bağlanan iki motor sayesinde kazanılan güç bir mekanizma aracılığıyla tekerlere aktarılır. Seri hibrit elektrikli araçların bir aktarım mekanizmasına ihtiyacı yoktur. Paralel hibrit elektrikli aracın enerjisini sağlamak amacıyla yine fosil yakıt ve akü görev almaktadır. Paralel hibrit elektrikli araçların yapısı Şekil 4'te verilmiştir.

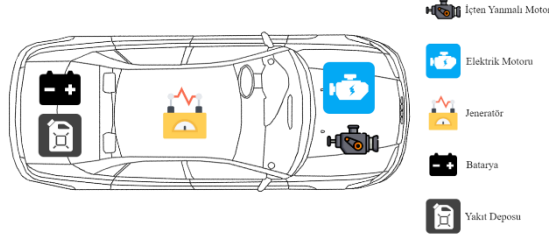


Şekil 4. Paralel hibrit elektrikli araçların yapısı.

Yokuş aşağı inerken ve frenleme sırasında oluşan enerjide oluşabilecek artış ile hafif paralel hibrit olarak bahsedilen sistemler daha fazla gelişim göstermektedir. Bu sistemler sayesinde oldukça küçük aküler ve elektrik motorları kullanılarak meydana gelen enerjinin geri kazanımı sağlanmaktadır. Küçük bir harcama ile hem elektrik motoru ufak olmasına rağmen büyük tork üreterek aracın çekiş gücünde ciddi bir artış yaratmakta, hem de yakıtın daha az harcanması sağlanabilmektedir. Üretilmekte olan ürünlere de üreticiler tarafından bahsedilen sistemin uygulanması için çalışmalar yapılmaktadır [16].

- **Seri-paralel ve kompleks hibrit elektrikli araçlar**

Verimi yükseltmek amacıyla hibrit araçlar hakkında birçok çalışma yapılmaktadır. Bu şekilde seri-paralel ve kompleks hibrit elektrikli araçlarda güç performansı yükselirken yakıt da ekonomik hale gelmektedir. Seri-paralel hibrit elektrikli araçlar, şekil bakımından paralel araçlara daha fazla benzeseler de seri ve paralel yapıdaki araçların sahip oldukları verimlilikleri barındırırlar. Tekerleklere direkt olarak bağlı olan içten yanmalı motor bir yandan da seri hibrit araçlara benzer olarak jeneratör yardımıyla enerji üreterek elektrik motoruna destek vermektedir. Bu durum daha çok alçak hızlarda aktif olurken, daha üst hızlarda içten yanmalı motor devreye girerek tekerleklerin ihtiyacı olan gücü vermektedir [17]. Seri-paralel ve kompleks hibrit elektrikli araçların yapısı Şekil 5'te gösterilmektedir.



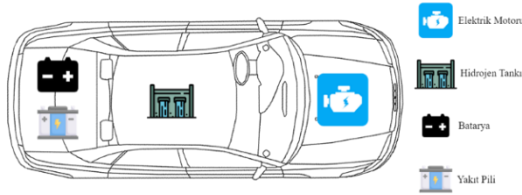
Şekil 5. Seri-paralel ve kompleks hibrit elektrikli araçların yapısı.

2.1.3. Tümü Elektrikli Araçlar

Sadece elektrik motorunun kullanıldığı bu yapıda, kullanılan elektrik motoru hem jeneratör gibi davranarak batarya hücrelerinin şarj edilebilmesini sağlama görevini hem de tahrik için ana etken olma görevini üstlenmektedir. Bakım maliyetlerinin düşük olmasına ek olarak yakıt maliyetine bakıldığında da içten yanmalı araçlara göre daha düşük değerlere sahiptirler. Örneğin elektrikli aracın yaklaşık 14 para birimi ile kat ettiği yolu içten yanmalı bir araç yaklaşık 23 para birimi harcayarak kat etmektedir. “Sıfır emisyonlu araçlar” şeklinde de bilinmekte olan bu araç yapılarının doğaya da zarar verebilecek herhangi bir salınımı bulunmamaktadır. Fakat bu yapıdaki araçların bazı problemlere sahip olduğu görülmektedir. Bu araçların satışı problemlerden ötürü önemli ölçüde etkilenmektedir. Şarj olma sürelerinin uzun sürmesi, kısa menzile sahip olmaları ve üretimdeki maliyete bağlı biçimde satışlardaki fiyatlarda artış yaşanması bu problemlerden bazılarıdır [18].

- **Yakıt pilli elektrikli araçlar**

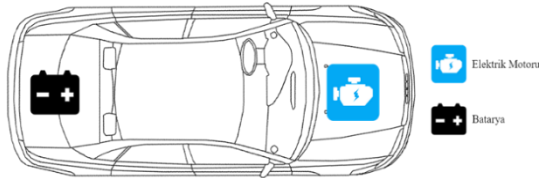
Bu yapıdaki araçlarda elektroliz dediğimiz işlem sayesinde istenmekte olan tahrik gücü elde edilmektedir. Yakıt pilleri üzerindeki kimyasal enerji bahsedilen elektroliz işlemi aracılığıyla elektrik enerjisi şekline çevrilir ve sonuç olarak yalnızca ısı ve su elde edilmektedir. Bu yapıdaki elektrikli araçların yapısı seri hibrit elektrikli araçlar ile benzerlik göstermektedir. Seri hibrit elektrikli araçlara benzer olarak içten yanmalı motor, jeneratör, yakıt pilleri ve yakıt deposu değil de hidrojen tankı vardır. Pil paketlerinin şarj edilmesi ve motorun çalıştırılması yakıt pilleri sayesinde sağlanan elektrik enerjisi ile yapılabilmektedir [19]. Yakıt pilli elektrikli araçların yapısı Şekil 6’da verilmiştir.



Şekil 6. Yakıt pilli elektrikli araçların yapısı.

- **Pil paketli elektrikli araçlar**

Bu yapıdaki elektrikli araçlar üzerinde farklı tip araçların sahip olduğu jeneratör, içten yanmalı motor ve yakıt deposu gibi yapılar yoktur [20]. Elektrik motorunun çalıştırılması amacıyla ihtiyaç duyulan tahriki elde etmek amacıyla yalnızca batarya hücrelerinden, elde edilmesi gereken elektrik enerjisi sağlanmaktadır. Biten ya da bitmekte olan batarya hücreleri tekrar şarj edilmelidir. Bu işlem şebeke üzerinden çekilen enerji ile yapılmaktadır. Bu tür elektrikli araçların yapısı Şekil 7’de gösterilmektedir.



Şekil 7. Pil paketli elektrikli araçların yapısı

2.2. Bataryalar

Kimyasal etkileşim ile meydana gelen enerji, bataryalar sayesinde kimyasal devreler üzerinde elektrik enerjisi şeklinde depolanabilmektedir. Enerjinin elektrik şeklinde saklanması gereken elektrikli araçlar, yenilenebilir enerji santralleri, telekomünikasyon altyapıları ve taşınabilir elektronik cihazlar ve benzeri farklı bazı alanlarda sıklıkla görülmektedir [21].

Otomobilin konforu, güvenliği ve güvenilirliğini yükseltebilmek ve bunun yanı sıra üretim maliyetleri, emisyon ve yakıt tüketimi gibi değerleri düşürebilmek amacıyla otomotiv sektöründe devamlı olarak çalışmalar yapılmaktadır. Klasik araçlar ile elektrikli araçlar arasında bir rekabet oluşabilmesi yapılan çalışmaların başarılı olarak hayata geçmesine bağlıdır. Elektrikli araçlarda bataryalar kalp gibidir ve farklı seyir çevrimleri, koşullar ve yapılandırılmalarda gerekli olan enerjinin temin edilmesine yararlar. Bu sebepten dolayı doğru bir batarya çeşidinin tercih edilmesi elektrikli araçlar için büyük önem taşımaktadır [22].

Geçtiğimiz yıllara baktığımızda elektrikli araç bataryalarında büyük ilerlemeler olduğu görülmektedir. Batarya teknolojileri, dayanıklılık, güvenlik, düşük maliyet, yüksek güç yoğunluğu ve enerji yoğunluğu gibi özellikler açısından sürekli olarak gelişmektedir. Tablo 1’de elektrikli araçlarda kullanılmakta olan batarya tiplerinin özellikleri gösterilmektedir [23].

Tablo 1. Elektrikli araç batarya tiplerinin karşılaştırılması [23].

| Batarya Tipleri | Nominal Gerilim (V) | Enerji Yoğunluğu (Wh/kg) | Kullanım Ömrü | Bellek Etkisi | Çalışma Sıcaklığı (°C) |
|----------------------------|---------------------|--------------------------|---------------|---------------|------------------------|
| Kurşun-Asit | 2,0 | 35 | 1000 | Yok | -15 ile +50 arası |
| Nikel Kadmiyum | 1,2 | 50-80 | 2000 | Var | -20 ile +50 arası |
| Nikel Metal Hidrit | 1,2 | 70-95 | <3000 | Nadiren | -20 ile +60 arası |
| Lityum İyon | 3,6 | 118-250 | 2000 | Yok | -20 ile +60 arası |
| Lityum İyon Polimer | 3,7 | 130-225 | >1200 | Yok | -20 ile +60 arası |
| Lityum Demir Fosfat | 3,2 | 120 | >2000 | Yok | -45 ile +70 arası |
| Lityum Sülfür | 2,5 | 350-650 | 300 | Yok | -60 ile +60 arası |

2.2.1. Kurşun-asit (Pb-Asit) Bataryalar

Kurşun asit bataryalar, uzun yıllardır çeşitli alanlarda kullanılan bir tür pil teknolojisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Yapı bakımından kurşun asit pillerin içeriğine bakıldığında negatif elektrotun üstünde kurşun, pozitif elektrotun üstünde kurşun dioksit ve elektrolitinde de sülfürik asit bulunduğu görülmektedir. Bu tür pillerin ucuz olması, düşük öz boşalım, yüksek deşarj akımı ve bellek etkisinin bulunmaması gibi belli avantajları bulunmaktadır. Fakat aynı zamanda bu pillerin beklediği zaman kapasitesinin düşmesi ve gerilim seviyelerinin düşük olması gibi dezavantajlarının bulunduğu da bilinmektedir [9]. Devamlı olarak gelişmekte olan kurşun asit pillerin geçtiğimiz yıllarda da gelişimi için gerçekleştirilen araştırmalarda daha çok pillerin kapasitesinin artırılması ve ağırlıklarının azaltılması gibi konular ele alınmaktadır [23].

Ucuz olduğunu bildiğimiz bu batarya türünde aynı zamanda enerji içeriği düşüktür. Bu sebepten ötürü kurşun asit piller genel olarak valf ayarlaması ile birlikte kullanılarak daha fazla çalışabilmekte ve daha az bakıma ihtiyaç duymaktadırlar. Ancak çevrim ömrünün ve enerji içeriğinin düşük olması büyük bir negatiflik katmakta ve dolayısıyla araçlarda ve endüstride uygulamaları çok yaygın değildir. Otomobillerin ateşlemesi, aydınlatması ve çalıştırılması gösterilebilecek uygulama örnekleri arasındadır [22].

2.2.2. Nikel Kadmiyum (Ni-Cd) Bataryalar

Bilinmekte olan en eski şarj edilebilir piller arasında nikel kadmiyum bataryalar da bulunmaktadır. 1989 yılında buluşu gerçekleşen nikel kadmiyum bataryaların ucuz ve güvenli olduğu bilinmektedir. Yapı bakımından ise nikel kadmiyum bataryaların içeriğine bakıldığında negatif elektrotun üstünde kadmiyum hidroksit/kadmiyum, pozitif elektrotun üstünde nikel oksihidroksit/nikel hidroksit ve elektrotunda da potasyum hidroksit bulunmaktadır. Verim bakımından fazlasıyla avantajlı olan nikel kadmiyum bataryaların kurşun asit çeşidi ile karşılaştırıldığında daha fazla akım boşaltım yoğunluğu bulunmaktadır. Raf ömürlerine bakıldığında 20 yıldan uzun olduğu bilinen nikel kadmiyum bataryalar hiçbir bakım istemezler. Bu çeşit bataryalar askeri alanlarda, motorların ilk çalıştırılması, saatler ve trenlerin ışıklandırılması gibi yerlerde kullanılmaktadır. Ancak çevresel faktörlerden etkilenmesi, ömrünün kısa olması ve enerji yoğunluğu bakımından kötü olması benzeri sebeplerden ötürü lityum iyon bataryalar gibi yeni geliştirilen batarya çeşitleri daha yaygın kullanılmaktadır [22].

2.2.3. Nikel Metal Hidrit (Ni-MH) Bataryalar

Bu çeşit bataryaların 1960’lı yıllardan beridir kullanıldığı bilinmektedir. Nikel metal hidrit bataryalar kimyaları bakımından nikel kadmiyum bataryalara benzemektedirler. Aralarındaki farka bakıldığında nikel kadmiyum bataryalardaki kadmiyum maddesi yerine hidrojen alaşımı kullanıldığı görülmektedir. Bu çeşitteki bataryaların enerji yoğunlukları gerçekleştirilen geliştirmeler sayesinde nikel kadmiyum bataryalara göre daha iyi bir duruma getirilmiştir. Benzer şekilde nikel kadmiyum

bataryalara göre bellek etkisinin daha fazla düşürüldüğü de bilinmektedir. Bir yandan da bataryaların iç dirençleri daha fazla küçültülerek daha az ısı ortaya çıkması sağlanmış ve bu sayede bataryaların veriminin artması sağlanmıştır.

Bu bataryalar, nikel kadmiyum çeşidin daha gelişmiş bir sürümüdür ve daha yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir. Ancak, nikel metal hidrit bataryaların bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlar, nikel kadmiyum bataryalara göre daha uzun süre şarj edilmelerinin gerekmekte olması ve depolama sırasında kendiliğinden deşarj olabilmesidir. Bununla birlikte, nikel metal hidrit bataryaların avantajları, nikel kadmiyum bataryaların avantajlarından daha ağır basmaktadır ve bu nedenle nikel kadmiyum bataryaların yerini almışlardır [23].

2.2.4. Lityum İyon (Li-ion) Bataryalar

Bu çeşit bataryaların güç ve enerji yoğunluğu yüksek, aynı zamanda da eşi olmayan bir bileşimden oluşmaktadır. Bu sayede de elektrikli arabalar, el aletleri ve taşınabilir elektronikler üzerinde sık olarak kullanılmaktadır. Bu bataryalar, sera gazlarının emisyonlarında da ciddi derecede bir azalma olmasını sağlarlar. Jeotermal, güneş, rüzgâr ve benzeri yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin kalitesi lityum iyon bataryalarda enerjinin veriminin fazla olmasından ötürü artar, bu sayede enerjinin daha sürdürülebilir bir ekonomiye sahip olması ve kullanımının yaygınlaşması sağlanmaktadır. Bu gibi sebeplerden hem devletin ekonomiye yönelik kurumlarından hem de sanayiye yönelik firmalar tarafından lityum iyon bataryaların dikkate alındığı ve bu konudaki araştırmaların arttığı görülmektedir [14]. Bu çeşit ile nikel tabanlı bataryalar kıyaslandığında anma gerilimi ve enerji yoğunluğu açısından daha iyi durumdadır [23].

2.2.5. Lityum İyon Polimer (LiPo) Bataryalar

Polimer kelimesi lityum tabanlı belli bir bataryanın tanımlanması için kullanılmaktadır. Pilin polimer bazlı olması bu kelimenin kullanımı esnasında çok önemli değildir. Bu batarya çeşidinde genelde gözenekli ve prizma yapılar bulunmaktadır. Plastik ile birebir olan polimer tabanlı mimari, yapay plastikler ve hatta biyolojik mimarilerin tabanını meydana getiren proteinlerde dahi kullanılabilir. Farklı batarya çeşitlerinden elektrolit bakımından değişimler. 70'lerdeki esas polimer tabanlı bataryalarda polimer elektrolit katı halde yer almaktadır. Elektrolite değiştirilen ve gözenekleri bulunan ayırıcının yerine ince bir kesitten meydana gelen katı polimer kullanılarak iyonların akması sağlanmaktadır. Oda ısısında ise polimerlerin katı hallerinin iletkenliği fazlasıyla az olmaktadır. Bu bataryaların normal veya iyi bir iletkenlik sunması için altmış derece ve bunun üstü derecelerde bulunması lazımdır. Bu aynı zamanda polimerin katı halinin sabit kullanım alanlarında yer alamıyor olmasının en büyük sebebidir. 2000 yılına yaklaştığında ise "plastik batarya" sözcüğü ile birlikte bu bataryaların yükselmesi gereken bir dönem yerine düşüşte olduğu zamanlar yaşanmış ve kullanım açısından bu bataryalar çok düşük kalmıştır.

2.2.6. Lityum Demir Fosfat (LiFePO₄) Bataryalar

Bu tür bataryaların ömrü çok kısa, özgül enerjisi düşük olmasına rağmen malzemelerinin uygun fiyatlı olması nedeniyle tercih edilmektedir [22]. Bu çeşit bataryalar yüksek güvenlik, yüksek çevrim oranı ve fazla güç yoğunluğuna sahiptirler. Fakat lityum iyon bataryalar ile lityum demir fosfat batarya çeşidi karşılaştırıldığında enerji yoğunlukları daha az olduğundan dolayı dezavantajlı durumdadırlar [23].

Lityum demir fosfat bataryalar özgül kapasitesinin yüksek olması, karakteristik niteliklerinin güvenli olması, elektrokimyasal açıdan yüksek performansının olması, uzun bir çevrim ömrüne sahip olması, kimyasalında zehirli bir içeriğe sahip olmaması ve maksimum ya da minimum sıcaklıklarda kararlı biçimde çalışabiliyor olmasından dolayı elektrikli araçlarda sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çeşit bataryaların patlama ihtimali maksimum ve minimum sıcaklıklarda bile çok düşüktür. Kurşun asit bataryaların yaklaşık on katı çevrim ömrüne sahiptirler. Şarj bakımından geniş aralıklarda bulunsun bile elektronik kart kullanılması gerekmektedir [25].

2.2.7. Lityum Sülfür (Li-S) Bataryalar

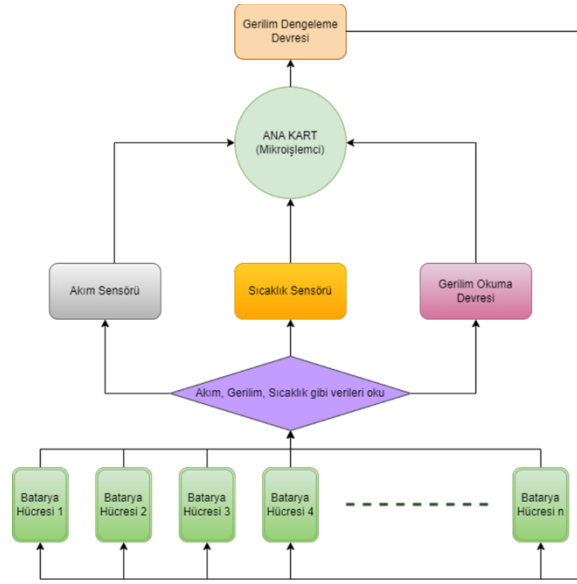
Lityum sülfür bataryalar geliştirilmekte olan elektrikli araçların batarya teknolojisi açısından tercih edilebilir yeni bir seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çeşit bataryalar özgül enerjisinin yoğunluğu ve aynı zamanda maliyeti bakımından elektrikli araçlar için diğer çeşitler arasından ön plana çıkmaktadır. Elemental kükürt bulunabilen diğer çeşitlerine göre daha bol ve ucuz olmasından dolayı son zamanlarda en çok çalışma yapılan katot ürünleri arasındadır. Bu bataryaların çevrim ömürleri normal seviyede, şarj verimleri yüksek, enerji yoğunlukları yüksek ve hücre gerilimleri düşüktür [23].

Lityum sülfür batarya çeşidinde benzer alanlarda çokça kullanıldığı bilinen lityum polimer ve lityum iyon batarya çeşitlerine kıyasla enerjinin depolanması esnasında herhangi bir güvenlik sorunu oluşturmazlar. Bu batarya çeşidi aynı zamanda az bakım gerektiren, güvenli ve hafif hücrelere sahiptir. Lityum sülfür bataryaların deşarjının tamamen gerçekleşiyor olması da en büyük ayrıcalıklarındandır [25].

3. Materyal ve Yöntem

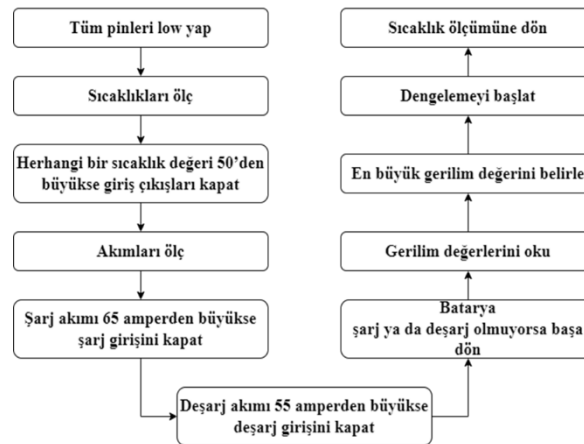
Bu çalışma kapsamında, bir batarya yönetim sistemi devresi tasarlanacak ve bu tasarım ile farklı tipte bataryaların tek bir batarya yönetim sistemi aracılığıyla dengelemesi sağlanacaktır. Yüksek gerilime sahip bataryaların gerilim seviyeleri pasif dengeleme yöntemiyle dirençler aracılığıyla düzeltililecektir. Bu yöntem sayesinde yüksek kapasiteli bataryalardan kaynaklanan düşük kapasiteli bataryalarda boş alan bırakılmaksızın tam şarj elde edilmesi sağlanacaktır. Aynı zamanda kullanılan sensörler aracılığıyla yüksek akım, yüksek sıcaklık ve düşük sıcaklık gibi olası durumlara karşı devrenin korunması sağlanacaktır.

Batarya hücreleri girişinde bulunan akım sensörü yardımıyla, akım değeri okunarak ana karta iletilmektedir. Benzer biçimde batarya üzerindeki sıcaklık sensörü yardımıyla bataryaların sıcaklığı okunmakta ve ana karta gönderilmektedir. Gerilim okuma devresi üzerinden her bir bataryanın gerilim değeri hesaplanarak ana karta iletilmektedir. Okunan değerler ana kart içerisinde bulunan yazılım ile değerlendirilmektedir. Yüksek akım geldiğinde devrenin akımı kesilerek güvene alınmaktadır. Sıcaklık belirlenen düzeylerin altında veya üstünde iken benzer biçimde akım kesilmektedir. Her bir bataryanın gerilimi karşılaştırılarak gerilim seviyesi en yüksek olan bataryanın fazla gerilimi direnç yardımıyla düşürülmektedir. Gerilim okuma işlemi sürekli olarak yapılmaktadır. Devrenin blok diyagramı Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. Devrenin blok diyagramı.

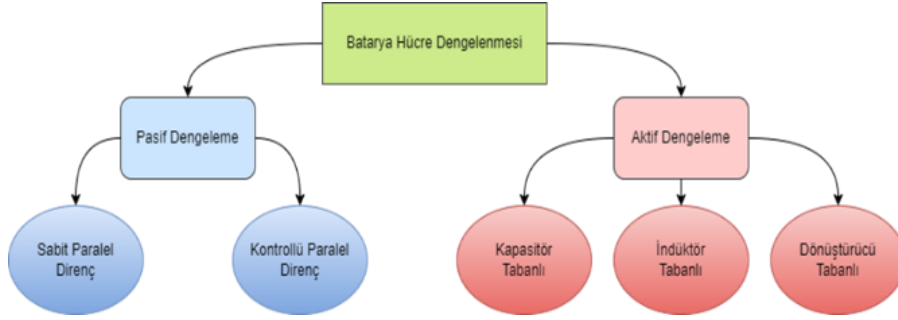
Devre başlatıldığında tüm pinler 0'a çekilmektedir. Sıcaklık ölçümü yapılır. Sıcaklık değeri 50'den büyük olduğunda giriş çıkışlar kapatılarak akım kesilmektedir. Önceki durumlar normal ise akımlar ölçülür. Şarj akımı 65 amperden büyük veya deşarj akımı 55 amperden küçük ise bu girişler kapatılmaktadır. Batarya şarj ya da deşarj olmuyorsa başa dönülmektedir. Gerilim değerleri okunur. En büyük gerilim değeri belirlenir. Belirlenen gerilim değeri üzerinde işlem yapılması için dengeleme başlatılır. Son olarak sıcaklık ölçümüne dönülerek işlemlerin tekrarlanması sağlanır. Devrenin akış şeması Şekil 9'da gösterilmektedir.



Şekil 9. Devrenin akış şeması.

3.1. Gerilim Dengeleme Yöntemleri

Batarya paketi içindeki hücrelerin gerilim olarak tümüyle şarj ya da deşarj olduğu esnada birbirleri ile aynı olmalarına yardımcı olan yapıya batarya dengeleme sistemi denmektedir [27]. Bataryanın meydana gelmesini sağlayan hücreler birbiri ile aynı değildir, bu sebepten ötürü batarya yönetim sistemlerinin hücrelerde gerilim dengelemesi yapması en değer verilen özelliklerindedir. Dengelemeyi yapan sistemin olmaması durumunda her hücrenin gerilimi farklı farklı değerlerde kalmaktadır [28]. Seri biçimde bağlı olan batarya hücrelerinin kapasite değerleri farklılık gösterdiğinde, şarjı bitirmek için gereken gerilim değerine kapasite değeri en yüksek seviyede bulunan hücre sahip olduğundan kapasite değeri düşük hücrelerin dolumu gerçekleşmeden şarj sonlanmaktadır. Benzer biçimde deşarj işlemi esnasında, deşarj işleminin bitmesi için gerekli olan gerilime sahip olan ve aynı zamanda gerilim seviyesi o kadar düşük olmayan hücrelerin deşarjı sonlandırılmaktadır [21]. Bunu engellemek amacıyla; batarya yönetim sistemi içerisinde bulunan hücre gerilim dengeleme sistemleri kullanılmaktadır. Hücre gerilimlerinin dengelemesini sağlamak amacıyla bazı yöntemler bulunmaktadır. Kullanılmakta olan yöntemler Şekil 10'da gösterilmektedir.

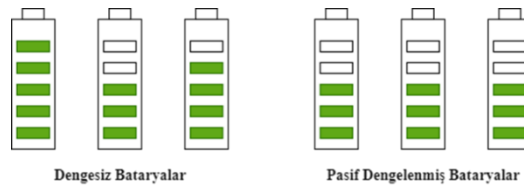


Şekil 10. Batarya dengeleme yöntemleri.

3.1.1. Pasif Dengeleme

Yaşlanmaya veya farklı sebeplere bağlı olarak bataryanın birbirine seri bağlanmış hücrelerinin kapasitesi düşük ise batarya şarj edildiği esnada kapasitesi normal olan hücelere de kapasitesi düşük olan hücre kadar dolum yapılabilir. Kapasitesi düşük olan hücrenin kapasitesi dolduğu esnada kapasitesi normal olan hücreler üzerinde daha şarj edilebilecek alan bulunmaktadır. Ancak bu aşamada önceden kapasitesi düşük olan hücrenin gerilimine çok fazla yüklenme yapılacağından ve bundan dolayı hücre hasar görebileceğinden şarja devam edilmemektedir. Kapasitesinde boşluk bulunan hücelere yükleme yapılabilmesi için kapasitesi dolmuş olan hücrenin boşaltılması gerekmektedir. Hücredeki enerji harcanarak bu sağlanabilmektedir. Bu şekilde yapılan dengelemeye pasif dengeleme adı verilmiştir.

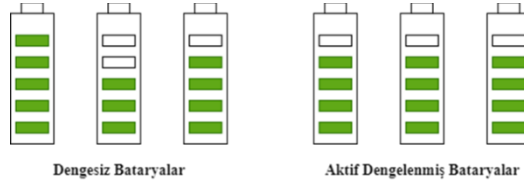
Genel olarak bu işlemin yapılması için direnç kullanılır. Aynı ayrı, hücrelerin her biri için birer direnç kullanılabileceği gibi tüm hücreler birbirine bağlanarak büyük bir direnç de kullanılabilir. Direnç yardımıyla yapılan dengeleme sırasında bu enerji ısıya dönüştürülerek harcanmaktadır. Enerjinin harcanabilmesi için direnç değil de anten, LED, lamba gibi elemanlara da yer verilebilir [29]. Pasif dengelenmiş bataryalar Şekil 11'de gösterilmektedir.



Şekil 11. Pasif dengeleme.

3.1.2. Aktif Dengeleme

Dengeleme yapılması amacıyla kullanılmakta olan diğer bir metot ise aktif dengeleme yöntemidir. Bu yöntemde batarya hücrelerinin gerilimleri hesaplanmakta ve yüksek kapasiteye sahip hücreden düşük olana aktarım yapılmaktadır. Böylece bir enerji kaybı oluşmaz. Pasif dengeleme yönteminde ısıya dönüştürülerek kaybedilen enerji, bu yöntemde diğer hücelere aktarılır ve bu sayede verimsizlik durumunun ortadan kalkması sağlanır [30]. Aktif dengelenmiş bataryalar Şekil 12'de gösterilmektedir.



Şekil 12. Aktif dengeleme.

Bu yöntemde enerjinin depolanabilmesini sağlayan ürünler (sığaç, endüktans) veya dönüştürücüler bulunmaktadır. Kapasitör içeren yöntem kullanıldığında kapasitesi yüksek hücre ile kondansatör doldurulmakta ve bu enerji kapasitesi düşük olan hücreye aktarılarak dengeleme gerçekleştirilmektedir [31]. İndüktör ve transformatör içeren yöntem kullanıldığında enerji diğer bir hücre ya da hücelere transformatör veya indüktör kullanılarak aktarılmaktadır. Kapasitör ile yapılan dengeleme yöntemine göre dengeleme işlemi daha hızlı gerçekleşmektedir. Fakat maliyet bakımından kapasitör içeren yöntemde göre oldukça pahalıdır. Aynı zamanda transformatör kullanıldığında kayıplar ortaya çıkmakta ve anahtarlama frekansının yüksek olduğu görülmektedir [31].

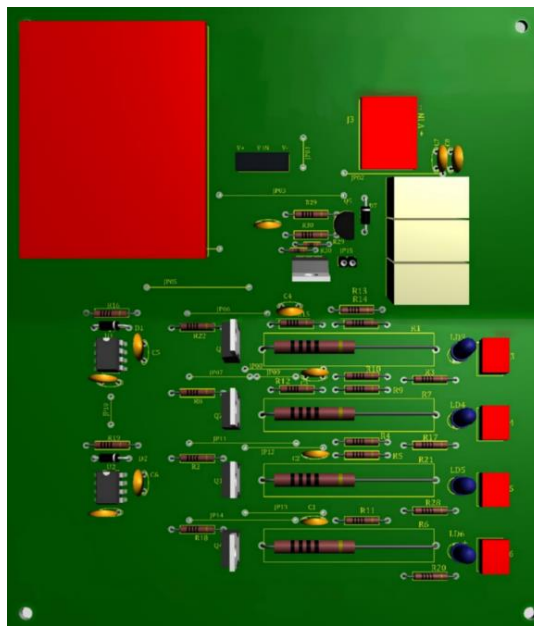
Pasif dengeleme ve aktif dengeleme yöntemlerinin karşılaştırılması Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Aktif ve pasif dengeleme yöntemlerinin karşılaştırılması [29].

| Aktif Dengeleme | Pasif Dengeleme |
|--|--|
| Enerji aktarımında %70 verimlilik sağlar. | Enerji israfı açısından verimsizdir. |
| Boşa harcanan enerji yoktur. | Yüksek dengeleme akımlarında, boşa harcanan enerji ısıya dönüşür. |
| Pasif dengelemeye göre daha fazla bileşen içerir. | Az sayıda bileşenden oluşabilir. |
| Bekleme konumunda boşa harcanan güç, eşdeğer pasif dengelemeye göre daha büyük kayıplara neden olabilir. | Bekleme konumunda boşa harcanan güç, eşdeğer aktif dengelemeye göre daha küçük kayıplara neden olabilir. |
| Her bir hücre için ortalama maliyet 10 \$’dır. | Her bir hücre için ortalama maliyet 1 \$’dır. |
| Bekleme konumundaki gücü 50 mW’tır. | Bekleme konumundaki gücü 0 mW’tır. |
| Ortalama maliyeti bir elektrikli araç için yaklaşık 1000 \$’dır. | Ortalama maliyeti bir elektrikli araç için yaklaşık 100 \$’dır. |

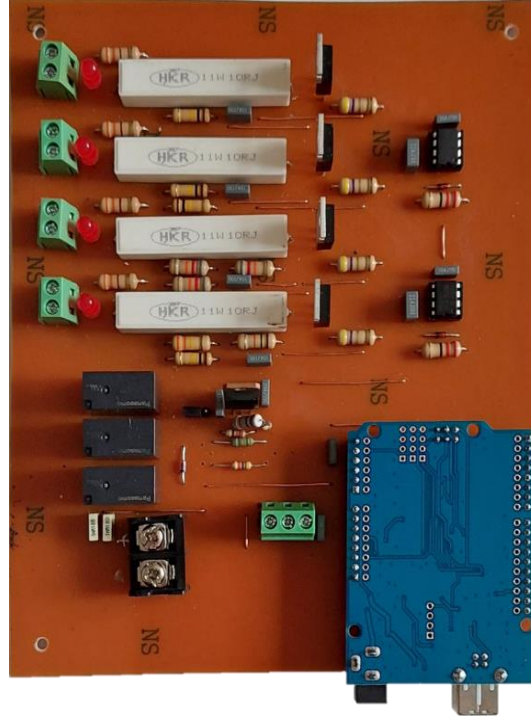
4. Bulgular ve Tartışma

Yapılan çalışmada birçok farklı alanda enerjinin sağlanması amacıyla kullanılmakta olan bataryaların yönetilmesi ve kontrol edilebilmesine yarayan batarya yönetim sistemi tasarlanarak uygulaması yapılmıştır. Tasarlanmış olan devre Şekil 13’te gösterilmektedir.



Şekil 13. Tasarlanan devrenin tasarımı.

Devre tasarımını uygulama aşamasına geçirmek için baskı devre çizilmiştir. Çizim esnasında bakır yolların kalınlıkları ve düzgünlüklerine dikkat edilmiştir. Çizimi gerçekleştirilmiş olan baskı devre bakır plaket üzerine uygulanarak devre elemanlarının yerleşimi için hazır hale getirilmiştir. Tasarlanan sistemin Li-Ion, LiFePO4 ve LiPo olmak üzere 3 farklı çeşitte ve her çeşit için 4 adet batarya ile testi gerçekleştirilmiştir. Dengeleme başlatıldığında hücrelerin gerilimleri ölçülerek bilgisayar çıktıları ile karşılaştırma yapılmıştır. Bu sayede devrenin doğruluğu test edilmiştir. Testi yapılan batarya yönetim sistemi Şekil 14'te verilmektedir.



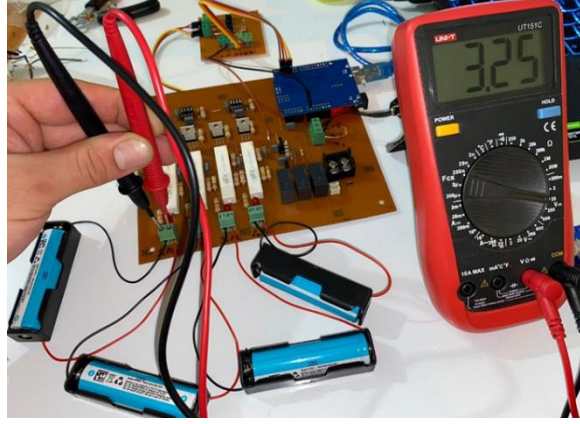
Şekil 14. Tasarlanan batarya yönetim sistemi.

Öncelikle gerçek devre üzerinde gerilim okuma testinin yapılabilmesi için bataryaların gerilimleri ölçü aleti yardımıyla ölçülmüştür. Ölçülen değerler kaydedilmiştir. Ölçü aleti üzerinden kaydedilmiş olan değerler ile çalışmakta olan batarya yönetim sistemi devresinin ölçtüğü gerilim değerleri bilgisayar ekranından okunarak karşılaştırma yapılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda bilgisayar ekranından okunan değerler ile ölçüm aletinden okunan değerler arasında çok büyük farklar olmadığı ve devrenin doğru şekilde çalışmakta olduğu görülmüştür. Oluşan gerilim farklılıklarının, gerilim bölücü devresinde kullanılan dirençlerin gerçek değerlerinin farklı olmasından kaynaklandığı belirlenmiş ve bilgisayar üzerinden okunan gerilim değerleri yazılım yardımıyla gerçek gerilim değerlerine yaklaştırılmıştır. Devre şarj veya deşarj yapılmadan normal durumda çalışırken test edilmiştir. Bu testten elde edilen bilgisayar ekranından alınan çıktılar Şekil 15'te verilmiştir.

```
COM7
Sıcaklık: 22.48 C
1. Pil Gerilimi: 3.25 V
2. Pil Gerilimi: 3.23 V
3. Pil Gerilimi: 2.87 V
4. Pil Gerilimi: 3.19 V
En dolu pil oranı: 95.79 %
1. Pil Doluluk Oranı: 95.79%
2. Pil Doluluk Oranı: 94.29%
3. Pil Doluluk Oranı: 66.84%
4. Pil Doluluk Oranı: 91.16%
Ortalama Pil Doluluk Oranı: 87.02%
Akım: -0.07 A
Sıcaklık: 22.48 C
1. Pil Gerilimi: 3.25 V
2. Pil Gerilimi: 3.24 V
3. Pil Gerilimi: 2.86 V
4. Pil Gerilimi: 3.19 V
En dolu pil oranı: 95.79 %
 Otomatik Kaydırma  Zaman damgasını göster
```

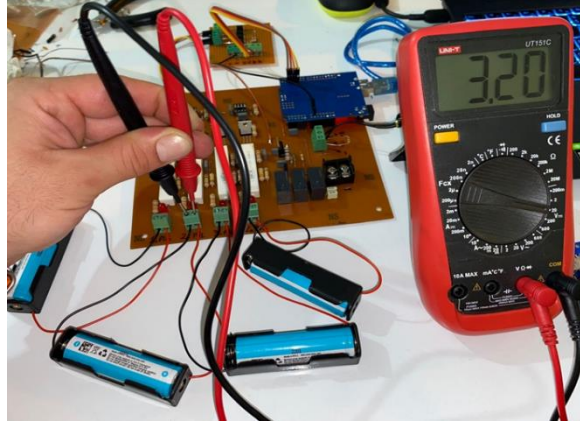
Şekil 15. Normal durumdaki devrenin test sonuçları.

İlk pilin ölçü aleti ile ölçülen gerilim değeri Şekil 16'da gösterilmektedir.



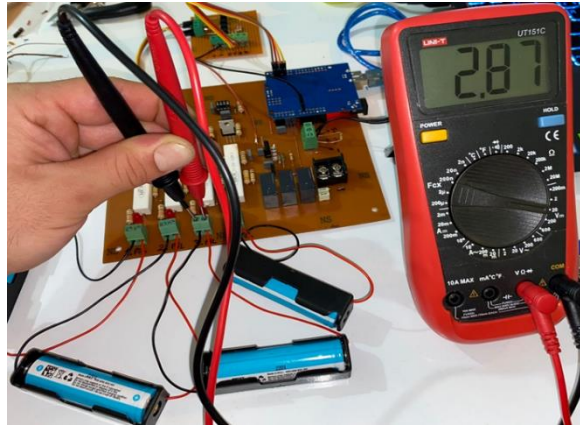
Şekil 16. Normal durumdaki devrede 1. pil gerilimi.

İkinci pilin ölçü aleti ile ölçülen gerilim değeri Şekil 17'de gösterilmektedir.



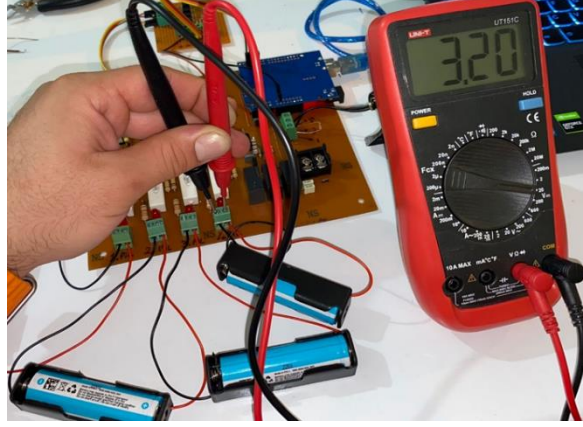
Şekil 17. Normal durumdaki devrede 2. pil gerilimi.

Üçüncü pilin ölçü aleti ile ölçülen gerilim değeri Şekil 18'de gösterilmektedir.



Şekil 18. Normal durumdaki devrede 3. pil gerilimi.

Dördüncü pilin ölçü aleti ile ölçülen gerilim değeri Şekil 19'da gösterilmektedir.



Şekil 19. Normal durumdaki devrede 4. pil gerilimi.

Yapılan testler sonucu ölçülen gerilimler ile devre üzerinden okunarak bilgisayarda görülen verilerin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Hata oranları hesaplandığında çok düşük hata payı olduğu gözlemlenmiştir. Bu verilerin karşılaştırılması Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Normal gerilim testi ölçüm sonuçları.

| Ölçülen Gerilim | Test Gerilimi | Hata Oranı |
|-----------------|---------------|------------|
| 3,25 | 3,25 | %0 |
| 3,20 | 3,23 | %0,93 |
| 2,87 | 2,87 | %0 |
| 3,20 | 3,19 | %0,31 |

Devrenin dengeleme testleri de yapılmıştır. En yüksek gerilime sahip pil bağlantısı yanındaki LED, dengeleme yapılmaya başlandığı esnada yanmaktadır, dengeleme durduğu esnada ise sönmektedir. Şekil 20'de bilgisayar çıktıları üzerinden en büyük gerilime sahip pilin gerilimi ve diğer bilgiler gösterilmektedir.

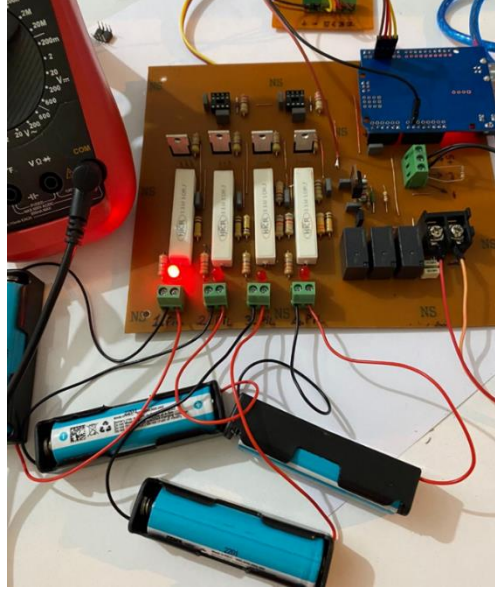
```

COM7
Ortalama Pil Doluluk Oranı: 102.81%
Akım: -0.29 A
Sıcaklık: 22.97 C
1. Pil Gerilimi: 3.37 V
2. Pil Gerilimi: 3.36 V
3. Pil Gerilimi: 3.29 V
4. Pil Gerilimi: 3.32 V
En dolu pil oranı: 105.57 %
1. Pil Doluluk Oranı: 105.57%
2. Pil Doluluk Oranı: 104.82%
3. Pil Doluluk Oranı: 99.55%
4. Pil Doluluk Oranı: 101.32%
Ortalama Pil Doluluk Oranı: 102.81%
Akım: -0.29 A
Sıcaklık: 22.97 C
1. Pil Gerilimi: 3.37 V
2. Pil Gerilimi: 3.36 V
3. Pil Gerilimi: 3.29 V
 Otomatik Kaydırma  Zaman damgasını göster

```

Şekil 20. Dengeleme testi bilgisayar çıktıları.

Çıktılara bakıldığında 1. pilin en yüksek gerilime sahip olduğu görülmektedir. Yapılan testte dengelemenin yapıldığı pile yakın LED'in yanmasına bakılarak anlaşılabilir. Şekil 21'de dengeleme testi gösterilmektedir.



Şekil 21. Dengeleme testi.

Farklı sıcaklık seviyelerinde devrenin termal tepkimelerini incelemek amacıyla çeşitli deneyler de gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler kapsamında, sıcaklık sensörü olarak Negatif Sıcaklık Katsayılı (NTC) termistör kullanılmış ve bu termistöre farklı ısılar verilerek, önceden ayarlanmış sıcaklık eşikleri üzerindeki koruma mekanizmalarının nasıl tepki verdiği gözlemlenmiştir. Arduino üzerine yüklenen kodlar sayesinde, sıcaklık değeri 50°C 'nin üstüne çıktığında tetiklenen koruma sinyali ile akım akışının kesilerek batarya dengeleme işleminin durdurulması sağlanmaktadır. Örneğin ısıtılmakta olan NTC yaklaşık olarak 39°C ısı çıkışı vermekte olduğunda röleye koruma sinyali gitmemektedir. NTC sıcaklık sensörünün ısı çıkışı yaklaşık 50°C olduğunda ise koruma sinyali gönderilerek akım kesilmekte ve batarya dengelemesi durdurulmaktadır. Bu deneysel çalışmalar sonucunda, devrenin sıcaklık koruma mekanizmasının etkili bir biçimde işlediği gözlenmiştir. Daha önce kullanılan LM35 sıcaklık sensöründe yaşanan sorunlar nedeniyle, yerine NTC termistör kullanılmasına karar verilmiştir. Yapılan sıcaklık testleri sonucunda, NTC termistörünün istikrarlı bir şekilde çalıştığı gözlenmiştir. Bu termistörün sıcaklık çıkışı, 40°C 'nin üzerine çıkarılarak şarj veya deşarj anlarında rölenin devreye sokulmasıyla enerji akışının kesilmesi sağlanmış ve böylece pillerin korunması sağlanmıştır. Sıcaklık değeri normale döndüğünde, röle eski konumuna dönerek enerji akışına izin vermiştir.

5. Sonuç

Bu çalışma kapsamında, bir batarya yönetim sistemi devresi tasarımı gerçekleştirilmiş olup, bu tasarım ile farklı tipte bataryaların tek bir batarya yönetim sistemi aracılığıyla dengelemesi hedeflenmiştir. Yüksek gerilime sahip bataryaların gerilim seviyeleri pasif dengeleme yöntemiyle dirençler aracılığıyla düzeltilmiştir. Bu yöntem sayesinde yüksek kapasiteli bataryalardan kaynaklanan düşük kapasiteli bataryalarda boş alan bırakılmaksızın tam şarj elde edilmesi sağlanmıştır. Pasif dengeleme yöntemi, ekonomik maliyetlerle uygulanarak düşük maliyet seviyesinde tutulmuştur. Aynı zamanda kullanılan sensörler aracılığıyla yüksek akım, yüksek sıcaklık ve düşük sıcaklık gibi olası durumlara karşı devrenin korunması sağlanmıştır.

Tasarlanan devre üzerinde gerekli testler gerçekleştirilmiştir. Yapılan testler sonucunda batarya yönetim sistemi tasarımının etkili bir şekilde işlediği tespit edilmiştir. Testlerde kullanılan pillerin maksimum şarj gerilimi, minimum deşarj gerilimi, akım gibi karakteristik değerleri mikrodenetleyiciye aktarılmıştır. Her bir pil için belirlenen sınırlar içerisinde dengeleme işlemi başarıyla gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, batarya dengelemesinin deşarj anında mümkün olmadığını göstermiştir. Deşarj anında dengeleme işlemine alınan bir pilin, diğer pillerin enerjisinin daha hızlı tükenmesine yol açtığı gözlemlenmiştir. Deşarj sırasında dengeleme yapabilme amacıyla enerjinin kesilmesi gerekmektedir. Ancak, pasif dengeleme yönteminde enerji kesimi istenmeyen bir durumdur. Şarj sırasında ise pillerdeki dengesizlik tespit edildiğinde, şarj işlemi durdurularak dengeleme sorunsuz bir şekilde gerçekleştirilmektedir.

Devrede kullanılmak istenen MOSFET sürücülerin LO pini üzerinden çıkış alınamaması sorunuyla karşılaşılmıştır. Bu zorluğun üstesinden gelmek adına, MOSFET sürücü yerine PC817 optokuplör kullanılması kararı alınmış ve bu bileşen vasıtasıyla MOSFET sürme işlemi gerçekleştirilmiştir. Devre yapısında herhangi bir değişiklik yapılmadığı için, pertinaks üzerine ek bir devre tasarımı yapılmıştır. Bu sayede MOSFET sürme işlemi sorunsuz bir şekilde gerçekleştirilerek dengeleme işlemi başarıyla tamamlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, gerilim dengeleme testlerinde %1'in altında hata oranları elde edildiğini göstermektedir.

Teşekkür

Bu çalışma 2022-1919B012207511 numaralı TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında desteklenmiştir.

Referanslar

- [1] D. Zeng, Y. Dong, H. Cao, Y. Li, J. Wang, Z. Li, and M. Z. Hauschild, "Are the electric vehicles more sustainable than the conventional ones? Influences of the assumptions and modeling approaches in the case of typical cars in China," *Resources, Conservation and Recycling*, pp. 167, 105210, 2021.
- [2] A. Turksoy, A. Teke, and A. Alkaya, "A comprehensive overview of the DC-DC converter-based battery charge balancing methods in electric vehicles," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 133, 110274, 2020.
- [3] W. Sung, and C. B. Shin, "Electrochemical model of a lithium-ion battery implemented into an automotive battery management system," *Computers & Chemical Engineering*, vol. 76, pp. 87-97, 2015.
- [4] H. A. Gabbar, A. M. Othman, and M. R. Abdussami, "Review of battery management systems (BMS) development and industrial standards," *Technologies*, vol. 9, no. 2, pp. 28, 2021.
- [5] M. K. Tran, S. Panchal, T. D. Khang, K. Panchal, R. Fraser, and M. Fowler, "Concept review of a cloud-based smart battery management system for lithium-ion batteries: Feasibility, logistics, and functionality," *Batteries*, vol. 8, no. 2, pp. 19, 2022.
- [6] K. Kaysal, F. Hocaoglu, and A. Kaysal, "Design and experimental implementation of passive battery management systems using arm-based microprocessors," *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, vol. 9, no. 1, pp. 26-39, 2021.
- [7] A. Kilic, S. Koroglu, A. Demircali, S. Kesler, Y. Yoner, E. Karakas, and P. Sergeant, "Design of master and slave modules on battery management system for electric vehicles," In *6th International Conference on Advanced Technology & Sciences (ICAT'Riga)* vol. 1, no. 1, pp. 161-166, 2017.
- [8] S. Kıvrak, T. Özer, Y. Oğuz, and E. B. Erken, "Battery management system implementation with the passive control method using MOSFET as a load," *Measurement and Control*, vol. 53, no. 1-2, pp. 205-213, 2020.
- [9] Y. Muratoğlu, "Elektrikli araçlarda kullanılan lityum iyon pillerin şarj durumlarının kokusuz kalman filtresi ile kestirilmesi," *Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Türkiye*, 2017.
- [10] U. K. Das, P. Shrivastava, K. S. Tey, M. Y. I. B. Idris, S. Mekhilef, E. Jamei, and A. Stojcevski, "Advancement of lithium-ion battery cells voltage equalization techniques: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 134, 110227, 2020.
- [11] T. A. Stuart, and W. Zhu, "Fast equalization for large lithium ion batteries," *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, vol. 24, no.7, pp. 27-31, 2009.
- [12] F. Forte, M. Pietrantonio, S. Pucciarmati, M. Puzone, and D. Fontana, "Lithium iron phosphate batteries recycling: An assessment of current status," *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, vol. 51, no. 19, pp. 2232-2259, 2021.
- [13] S. F. Tie, and C. W. Tan, "A review of energy sources and energy management system in electric vehicles," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 20, pp. 82-102, 2013.
- [14] X. Li, and S. S. Williamson. "Assessment of efficiency improvement techniques for future power electronics intensive hybrid electric vehicle drive trains," In *2007 IEEE Canada Electrical Power Conference*. pp. 268-273, IEEE, October, 2007.
- [15] V. Agarwal, and M. Dev, "Introduction to hybrid electric vehicles: State of art," In *2013 Students Conference on Engineering and Systems (SCES)*. pp. 1-6, IEEE, April, 2013.
- [16] A. Sciarretta, M. Back, and L. Guzzella, "Optimal control of parallel hybrid electric vehicles," *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 12, no. 3, pp. 352-363, 2004.

- [17] S. Grammatico, A. Balluchi, and E. Cosoli, "A series-parallel hybrid electric powertrain for industrial vehicles," In 2010 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference. pp. 1-6, IEEE, September, 2010.
- [18] S. Leitman, and B. Brant, "Build Your Own Electric Vehicle," McGraw Hill Professional, 2013.
- [19] C. C. Chan, "The state of the art of electric, hybrid, and fuel cell vehicles," Proceedings of the IEEE, vol. 95, no. 4, pp. 704-718, 2007.
- [20] M. M. Tezcan, and S. Taşer, "Investigation of the conversion procedures for fossil fuel vehicles to electric vehicles in Turkey," International Scientific and Vocational Studies Journal, vol. 6, no. 2, pp. 138-143, 2022.
- [21] H. S. Gül, "Elektrikli araçlar için batarya yönetim sistemi tasarımı," Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye, 2018.
- [22] G. Eğin, "Elektrikli araçların batarya sistemlerinde ısı yönetimi," Doktora Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Türkiye, 2019.
- [23] J. Y. Yong, V. K. Ramachandaramurthy, K. M. Tan, and N. Mithulananthan, "A review on the state-of-the-art technologies of electric vehicle, its impacts and prospects," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 49, pp. 365-385, 2015.
- [24] N. Nitta, F. Wu, J. T. Lee, and G. Yushin, "Li-ion battery materials: present and future," Materials Today, vol. 18, no. 5, pp. 252-264, 2015.
- [25] A. K. Padhi, K. S. Nanjundaswamy, and J. B. Goodenough, "Phospho-olivines as positive-electrode materials for rechargeable lithium batteries," Journal of the Electrochemical Society, vol. 144, no. 4, pp. 1188, 1997.
- [26] L. F. Nazar, M. Cuisinier, and Q. Pang, "Lithium-sulfur batteries," MRS Bulletin, vol. 39, no. 5, pp. 436-442, 2014.
- [27] Y.E. Ekici, "Batarya yönetim sistemleri," Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Türkiye, 2019.
- [28] M. A. A. H. Daowd, N. Omar, P. Van Den Bossche, and J. Van Mierlo, "A review of passive and active battery balancing based on MATLAB/Simulink," International Review of Electrical Engineering, vol. 6, no. 7, pp. 2974-2989, 2011.
- [29] D. Andrea, "Battery management systems for large lithium-ion battery packs," Artech House, 2010.
- [30] H. Rahimi-Eichi, U. Ojha, F. Baronti, and M. Y. Chow, "Battery management system: An overview of its application in the smart grid and electric vehicles," IEEE Industrial Electronics Magazine, vol. 7, no. 2, pp. 4-16, 2013.
- [31] M. Rigan, "Elektrikli araçlarda batarya yönetim sistemi tasarımı," Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Türkiye, 2020.

Lossless Grounded Capacitance Multiplier Based On Two CFOAs

Tolga Yucehan ^{a,1}

^a Afyon Kocatepe University, Dazkiri Vocational School, Afyonkarahisar, Turkey
ORCID ID: 0000-0002-8835-0907

Abstract

A new lossless grounded capacitance multiplier (GCM) based on two current-feedback operational amplifiers (CFOAs) is proposed. The proposed circuit is built with a least number of passive elements. The capacitor is selected as grounded in the proposed circuit, while one resistor is grounded and the other is floating. The proposed GCM has low power consumption and a very large multiplying factor. The passive element matching conditions are not necessary for the designed GCM. The SPICE program is used for the simulations, and all the simulations are performed with 0.18 μ m CMOS technology parameters. The simulation results verify the ideal results from 10Hz to 15MHz. Further, the designed GCM is tested in the application circuit, which is a second-order passive filter. The experiments of the designed GCM are achieved by using AD844s instead of CFOAs.

Keywords: “Grounded capacitance multiplier, CFOA, AD844, current mode, lossless.”

1. Introduction

The capacitor has an important role as a passive element in analog circuits such as oscillators, analog passive and/or active filters, etc. High-valued capacitors are not preferred because they occupy large areas in integrated circuits (ICs), as referred to in [1]. That means the area of the ICs is increased if the capacitor value is increased. Thus, the capacitance multiplier circuits designed with active devices are used instead of the capacitors in ICs. Current-mode (CM) active devices have several possible advantages over voltage-mode active devices such as operational amplifiers [2-6]. The current-feedback operational amplifier (CFOA) is one of the most preferred CM active devices in CM signal processing and low-power applications [7, 8]. There are some grounded capacitance multipliers (GCMs) based on CFOAs in the literature [9-20], and some GCMs based on other active devices in the literature [21-33]. Nevertheless, GCMs in [9-33] suffer from the following disadvantages:

i) A floating capacitor is used in the circuits of [9-11, 21-27], so they need to occupy with double poly in IC technology [34].
ii) GCMs in [11-13, 23] are designed with more than one floating resistor. iii) Several GCMs in [13-16, 22, 26-28, 33] include a capacitor in series to the X terminal of the CFOA; therefore, they have limitations at high frequency [35]. iv) The GCM in [14, 23] is built with different types of active devices. v) The circuit in [17, 25, 28-32] can be constructed with more than two commercially active devices. vi) The GCMs described in [10-13, 17-19, 21-26, 30-32] have less operating frequency range in the scale of the decade than the proposed GCM. vii) Some GCMs are lossy [27-29].

This manuscript proposes a lossless grounded capacitance multiplier, which is based on two CFOAs. The proposed lossless GCM is designed with a least number of passive elements. The capacitor is selected as grounded in the proposed circuit, while one resistor is grounded and the other is floating. The passive element matching conditions are not necessary for the designed lossless GCM. The non-ideal and ideal analysis is also computed. In addition, the parasitic impedance effects are investigated. The simulations of the designed lossless GCM are made by the SPICE program. Further, the designed GCM is tested in the second-order passive filter. The proposed circuit is experimentally constructed with two commercially active devices.

The next sections of this manuscript are planned as follows: In the second section, the CFOA is presented, and the theoretical analyses of the designed GCM are defined. The outcomes of the simulation results are given in Section 3. The proposed lossless GCM is tested in the second-order passive filter application circuit in Section 4. In the fifth section, the outcomes of the experimental results are presented. Lastly, the conclusion is discussed in Section 6.

¹ Corresponding Author

E-mail Address: tyucehan@aku.edu.tr, tolgayucehan@gmail.com

Tolga Yucehan (the author) is one of the Editor-in-Chief of this journal (International Scientific and Vocational Studies Journal). The author did not serve as an Editor-in-Chief during the reviewing process of this manuscript. The editorial process of this manuscript was carried out by Umut Saray who is the other Editor-in-Chief of this journal.

2. Proposed Lossless GCM

The symbolic representation of the CFOA containing the parasitic impedances is indicated in Fig. 1. The mathematical relations of terminals of the CFOA with the parasitic impedances and the non-ideal gains can be defined in (1).

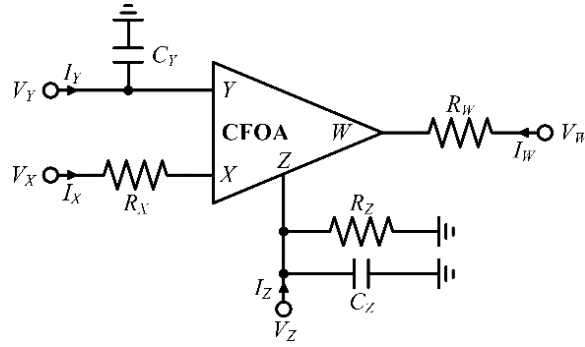


Fig. 1. Block representation of CFOA with the parasitic impedances.

$$\begin{bmatrix} I_Y \\ V_X \\ I_Z \\ V_W \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} sC_Y & 0 & 0 & 0 \\ \beta & R_X & 0 & 0 \\ 0 & \alpha & sC_Z + 1/R_Z & 0 \\ 0 & 0 & \eta & R_W \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_Y \\ I_X \\ V_Z \\ I_W \end{bmatrix} \quad (1)$$

In (1), β and η are frequency-dependent non-ideal voltage gains, while α is current gain. All non-ideal gains are equal to 1, ideally. The parasitic resistor R_Z is ideally infinity, while R_X and R_W are ideally equal to zero. Also, the parasitic capacitors, named C_Y and C_Z , are ideally equal to zero. The designed lossless GCM is demonstrated in Fig. 2.

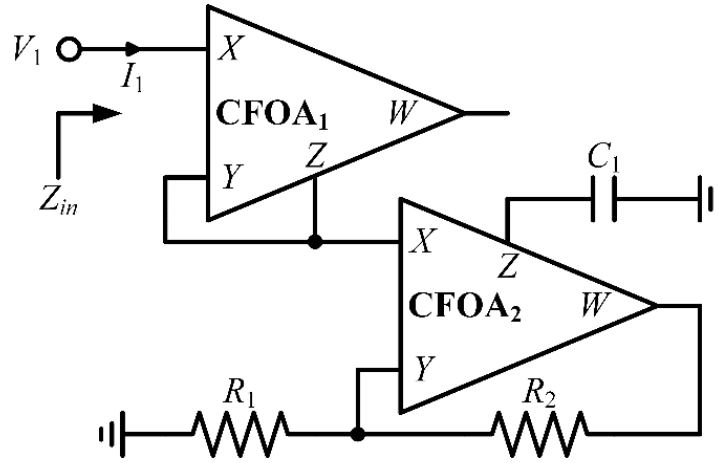


Fig. 2. The proposed lossless GCM based on CFOAs.

If the parasitic impedances of the CFOAs are comprised, and their non-ideal gains are neglected, the input impedance (Z_{in}) of the designed GCM is calculated as in (2).

$$Z_{in} = \frac{1 - R_{X1}Y_a + Y_c(1 + Y_b(R_2 + R_{W2}))}{Y_c(1 + Y_b(R_2 + R_{W2}))} (R_{X1} - R_{X2} + R_{X1}R_{X2}Y_a) - Y_a \quad (2)$$

Here, $Y_a = sC_{Y1} + sC_{Z1} + 1/R_{Z1}$, $Y_b = sC_{Y2} + 1/R_1$, and $Y_c = sC_1 + sC_{Z2} + 1/R_{Z2}$. If β , η , and α of the CFOAs are included, and their parasitic impedances are neglected, Z_{in} is computed as in (3).

$$Z_{in} = \frac{\alpha_1 \alpha_2 \beta_1 \beta_2 \eta_2}{sC_1(1 + R_2/R_1)} \quad (3)$$

If β , η , and α and the parasitic impedances of the CFOAs are neglected, Z_{in} is defined as in (4).

$$Z_{in} = \frac{1}{sC_1(1+R_2/R_1)} = \frac{1}{sC_1K} = \frac{1}{sC_{eq}} \quad (4)$$

Here, K is the multiplying factor, which is equal to $1+R_2/R_1$, and the equivalent capacitance (C_{eq}) of the designed GCM is equal to $C_1 \times (1+R_2/R_1)$.

3. Simulation Results of The Proposed GCM

The internal structure of the CFOA based on the MOS transistor is given in Fig. 3 and derived from [36]. The equations of the small signal input and output resistances of the Fig. 3 are calculated as in (5).

$$r_X = \frac{r_{O5}}{\left(\frac{1}{g_{m4}} + \frac{1}{g_{m12}}\right)(r_{O1} // r_{O21})(r_{O17} // r_{O25})g_{m17}g_{m19}g_{m21}} \quad (5a)$$

$$r_Z = (r_{O6}r_{O14}g_{m14}) // (r_{O31}r_{O36}g_{m31}) \quad (5b)$$

$$r_W = \frac{r_{O13}}{\left(\frac{1}{g_{m10}} + \frac{1}{g_{m15}}\right)(r_{O7} // r_{O23})(r_{O18} // r_{O27})g_{m18}g_{m20}g_{m23}} \quad (5c)$$

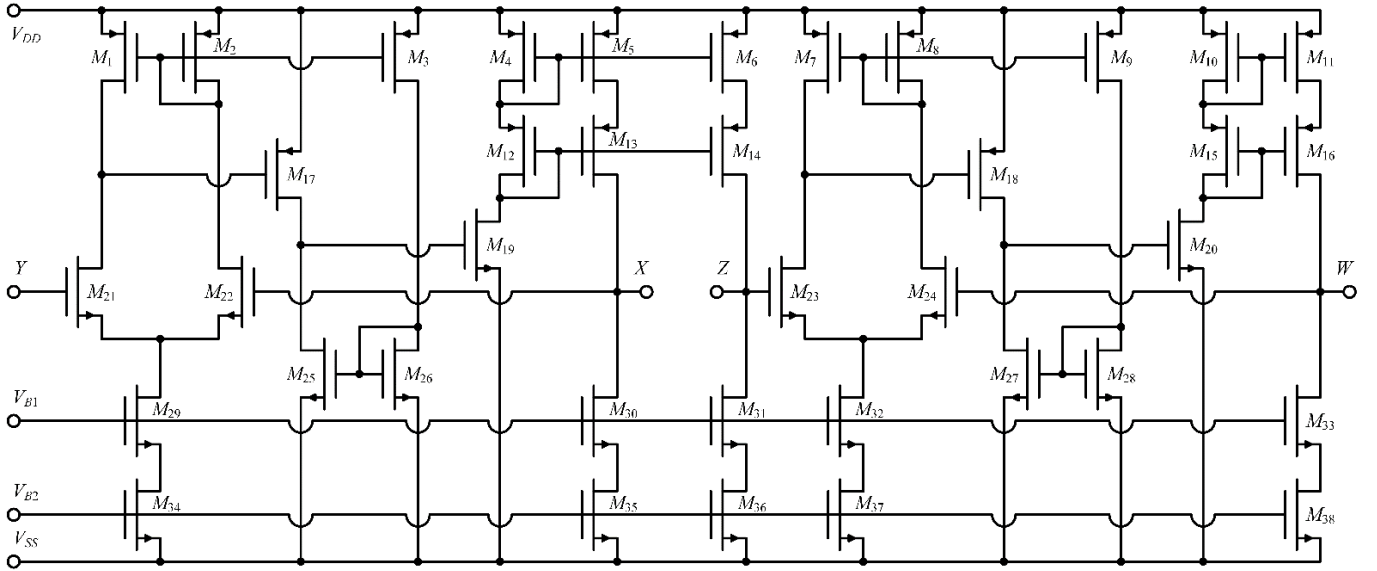


Fig. 3. The internal structure of the CFOA derived from [36].

The width (W) and length (L) parameter values of the MOS transistors of the CFOA are shown in Table 1. The simulations are made with $0.18\mu\text{m}$ CMOS technology parameters [37] for the MOS transistors in Fig. 3. The bias voltages are taken as $V_{B1} = -0.02$ V and $V_{B2} = -0.45$ V, and the supply voltages of the internal structure are selected as ± 0.9 V. As a result of selecting these values, the β , η , and α and the parasitic impedances of the CFOA are computed as in Table 2.

Table 1. The width and length parameter values of the MOS transistors.

| Transistors | | L (μm) | W (μm) |
|-------------|---|-----------------------|-----------------------|
| PMOS | M_1 - M_{18} | 0.5 | 4 |
| NMOS | M_{19} - M_{28} , M_{30} , M_{31} , M_{33} , M_{35} , M_{36} , M_{38} | 0.5 | 2 |
| | M_{29} , M_{32} , M_{34} , M_{37} | 0.5 | 12 |

Table 2. Values of the some performance parameters of the CFOA.

| Parasitic Impedances of The CFOA | | | | | |
|----------------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------|
| $R_X \cong 27.8\Omega$ | $R_Z \cong 0.378G\Omega$ | $R_W \cong 27.8\Omega$ | $C_Z \cong 6.2fF$ | $C_Y \cong 1.8fF$ | |
| Non-ideal Gains of The CFOA | | | | | |
| $\alpha = 1.0000$ | $\beta = 1.0000$ | $\eta = 1.0000$ | $f_\alpha \cong 140MHz$ | $f_\beta \cong 147MHz$ | $f_\eta \cong 191MHz$ |

The SPICE program is used to make all simulations. R_1 and R_2 resistors of the proposed GCM are chosen as $1k\Omega$ and $9k\Omega$, respectively. Also, the capacitor C_1 in Fig. 2 is selected as $100pF$. As a result, K and C_{eq} are ideally found as 10 and $1nF$, respectively. In Fig. 4, the outcomes of the AC analysis results for the designed lossless GCM are shown comparatively with the ideal results. The Monte Carlo (MC) analysis outcomes are given in Fig. 5, in which Gauss deviations of all the passive elements are taken as 5%. The MC analysis is made with 200 samples. In Fig. 6, the AC temperature analysis outcomes are demonstrated where the temperature is varied from $-60^\circ C$ to $120^\circ C$, with the Gauss deviation chosen as 5%. In the temperature analysis, the linear temperature changes of all the resistors for $1^\circ C$ are taken as 15 ppm. In addition, the time-domain analysis is performed for the proposed GCM, and the results are indicated in Fig. 7. An input current that has $0.5\mu A$ magnitude at $100kHz$ is applied to the proposed GCM for the time-domain analysis. Fig. 8 shows the magnitude and phase results comparatively with the ideal results for different K values. In this simulation, resistor R_1 is selected as $1k\Omega$, while R_2 is chosen as $9k\Omega$, $99k\Omega$, and $999k\Omega$, respectively. Capacitor C_1 is selected the same as with other simulations. Consequently, K is calculated as 10, 100, and 1000, while C_{eq} is $1nF$, $10nF$, and $100nF$. The total power consumption of the designed lossless GCM is about $62.9\mu W$.

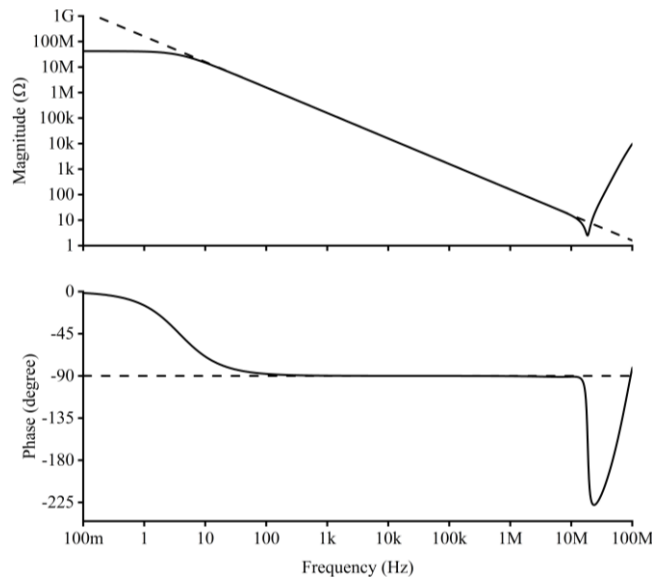


Fig. 4. AC impedance results of the designed GCM.

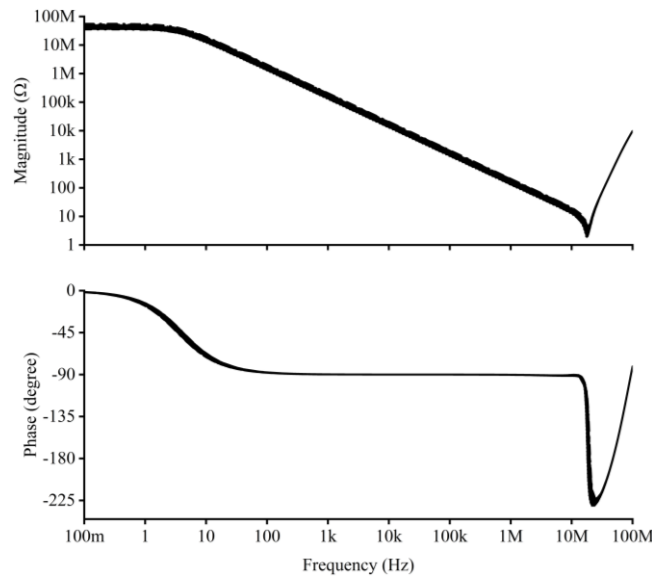


Fig. 5. Outcomes of the MC analysis results for the proposed designed GCM.

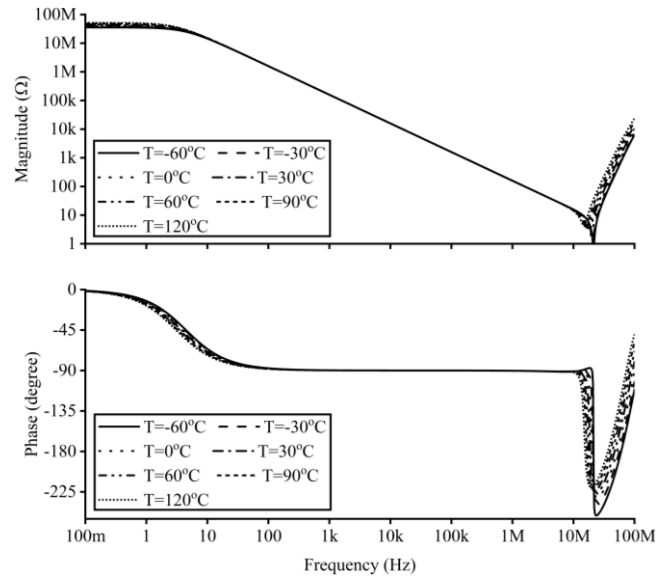


Fig. 6. Temperature analysis results of the designed lossless GCM.

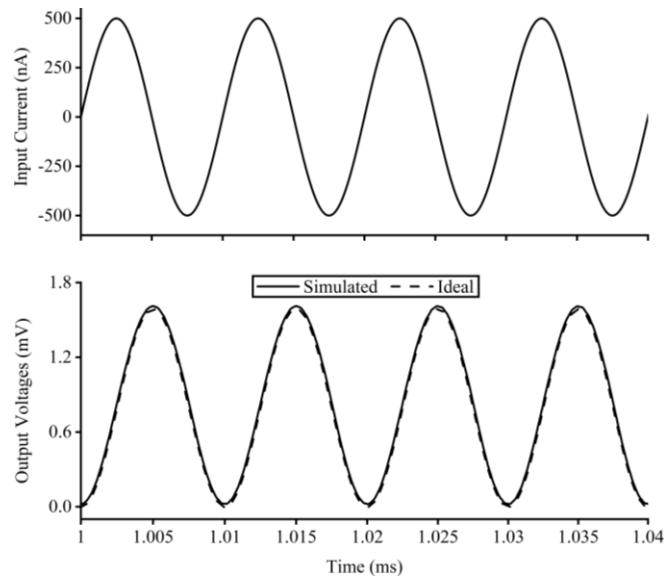


Fig. 7. The input current and output voltages of the designed lossless GCM.

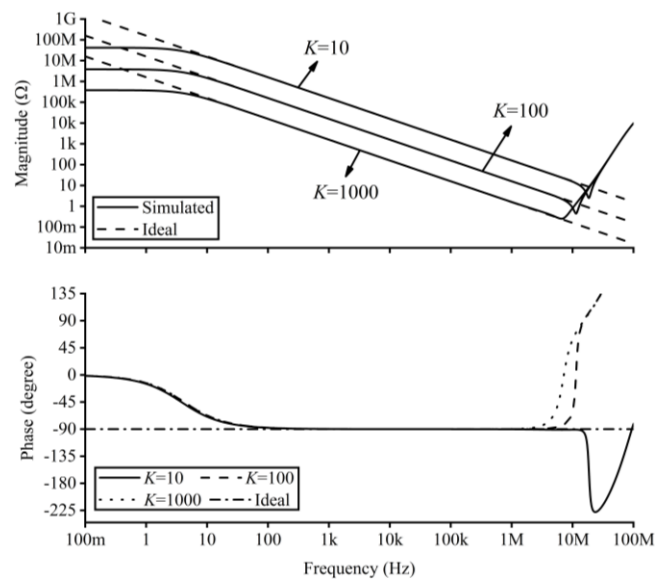


Fig. 8. AC impedance results of the designed lossless GCM for different multiplying factors.

The comparison table for the proposed GCM with the CFOA-based GCMs in [9-20] is shown in Table 3. In Table 3, Figure of Merit (FoM) is a term that is related to operating frequency range, supply voltages, total power consumption, and number of active devices. Also, FoM is shown in (6) as an equation. According to Table 3, if the power consumption, operating frequency range, K, and supply voltages are considered together, the proposed circuit is assumed to be more advantageous than other circuits in Table 3.

$$FoM = \frac{\text{Operating Frequency Range}}{\text{Supply Voltages} \times \text{Total Power Consumption} \times \text{Number of Active Devices}} \quad (6)$$

Table 3. The comparison table for the CFOA-based GCMs in [9-20] with the proposed GCM.

| References | Figure | # of Active Devices | # of C / R | # of Floating Capacitor | # of Floating Resistor(s) | Technology | Supply Voltages (V) | Power Dissipation (mW) | Operating Frequency Range (Hz) | Operating Frequency Range (decade) | K | FoM |
|---------------------|----------|---------------------|--------------|-------------------------|---------------------------|-----------------|---------------------|------------------------|--------------------------------|------------------------------------|-------------|---------------|
| [9] | 2c | 2 CFOA | 1 / 2 | 1 | 0 | - | - | - | - | - | 50 | - |
| [10] | 2 | 2 CFOA | 1 / 2 | 1 | 1 | 0.35μ | ±0.75 | 0.507 | 5.75 – 512.8k | 4.95 | 5 | 117.27M |
| [11] | 4 | 1 CFOA | 1 / 2 | 1 | 2 | AD844 | - | - | 1k – 1M | 3 | 10 | - |
| [12] | 3 | 2 CFOA | 1 / 2 | 0 | 2 | AD844 | ±9 | 233 | ~30 – ~30M | 6 | 20 | 238.44k |
| [13] | 2 | 1 ICFOA | 1 / 2 | 0 | 2 | 0.13μ | ±0.75 | 0.1 | 100k - 6M | 1.78 | 51 | 800k |
| [14] | 1 | 1 CFOA, 1 OTA | 1 / 1 | 0 | 0 | AD844, LM13700N | ±5 | - | 2 – 7M | 6.54 | 400 | - |
| [15] | 2 | 2 CFOA | 1 / 2 | 0 | 1 | AD844 | - | - | - | - | - | - |
| [16] | 2c | 2 CFOA | 1 / 2 | 0 | 1 | AD844 | - | - | - | - | - | - |
| [17] | 3a | 1 MCFOA | 1 / 2 | 0 | 0 | 0.25μ | ±1.5 | 0.52 | ~30k – ~30M | 3 | - | - |
| [17] | 3b | 1 MCFOA | 1 / 2 | 0 | 0 | 0.25μ | ±1.5 | 0.52 | ~30k – ~30M | 3 | - | - |
| [18] | 2 | 1 ICFOA | 1 / 2 | 0 | 1 | 0.18μ | ±1.25 | 0.024 | 1 – 30k | 4.48 | 10000 | 1G |
| [19] | 3 | 2 CFOA | 1 / 2 | 0 | 1 | 0.13μ | ±0.75 | - | 100k – 100M | 3 | 100 | - |
| [19] | 6 | 3 CFOA | 1 / 3 | 0 | 1 | 0.13μ | ±0.75 | - | 100 – 100M | 6 | 100 | - |
| [20] | 2b | 2 CFOA | 1 / 2 | 0 | 1 | AD844 | - | - | - | - | - | - |
| Proposed GCM | 2 | 2 CFOA | 1 / 2 | 0 | 1 | 0.18μ | ±0.9 | 0.0629 | 10 – 15M | 6.18 | 1000 | 13.25G |

-: Not available. FoM: Figure of Merit is given in (6)
 MCFOA: Modified CFOA. ICFOA: Inverting CFOA. OTA: Operational transconductance amplifier.

The AC analysis performances of the GCMs in [15, 20] are compared to the proposed GCM. This comparison is made when K is selected as 10, and the value of the capacitor is equal to 100pF for the proposed GCM and the GCMs in [15, 20]. A comparison of AC analysis results of the GCMs in [15, 20] with the proposed lossless GCM is given in Fig. 9.

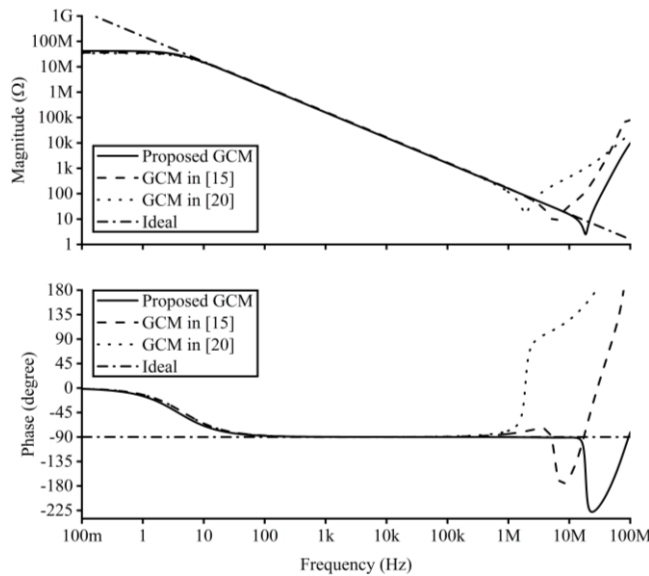


Fig. 9. A comparison of AC impedance results of the designed lossless GCM with the GCMs in [15, 20].

4. Application Example

The proposed lossless GCM is tested in the application circuit, which is a second-order passive filter shown in Fig. 10. This application circuit has two outputs. This second-order passive filter behaves as a low-pass filter (LPF) from one output and behaves as a notch filter (NF) from another output. The transfer functions (TFs) of the filter are given in (7), and (8). Also, the resonance frequency (f_0) and the quality factor (Q) are shown in (9).

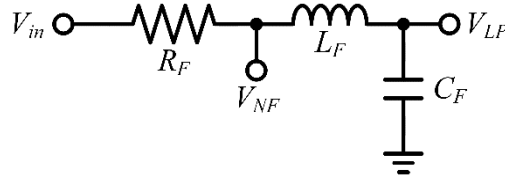


Fig. 10. Second-order passive filter.

$$TF_{LP} = \frac{1/L_F C_F}{s^2 + s\left(R_F/L_F\right) + 1/L_F C_F} \quad (7)$$

$$TF_{NF} = \frac{s^2 + 1/L_F C_F}{s^2 + s\left(R_F/L_F\right) + 1/L_F C_F} \quad (8)$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\sqrt{L_F C_F}} \quad (9a)$$

$$Q = \frac{1}{R_F} \sqrt{\frac{L_F}{C_F}} \quad (9b)$$

A resistor and an inductor in Fig. 10 are chosen as $1\text{k}\Omega$ and 5mH , respectively. The proposed GCM is used instead of the capacitor (C_F) in the second-order passive filter. R_1 , R_2 , and C_1 of the designed lossless GCM in Fig. 2 are selected as $1\text{k}\Omega$, $49\text{k}\Omega$, and 100pF , respectively. Thus, $K = 50$, and $C_{eq} = 5\text{nF}$. Consequently, selecting these values of the application example and the proposed GCM, f_0 and Q are calculated as 31.831kHz and 1 , ideally. AC frequency analysis outcomes of the filter are demonstrated in Fig. 11, while noise analysis outcomes for the LP output are represented in Fig. 12. The transient analysis is also made for the application circuit, and its results for the LP output are plotted in Fig. 13. The sinusoidal input voltage, which has 0.5mV amplitude at 1kHz , is implemented to the filter.

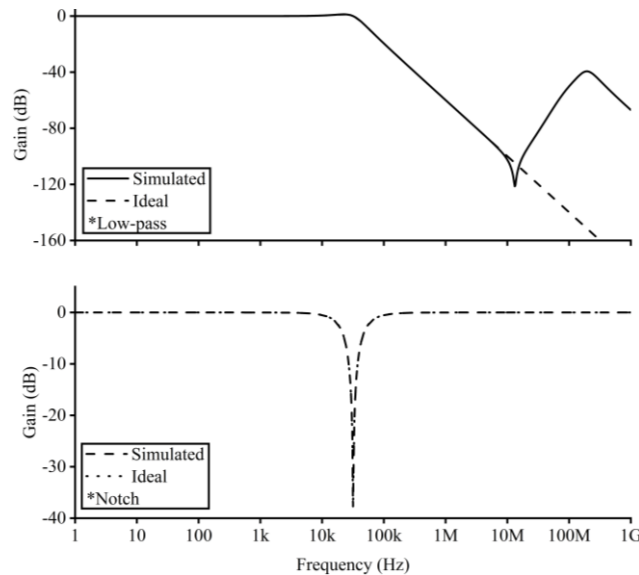


Fig. 11. The outcomes of the AC analysis results of the application example.

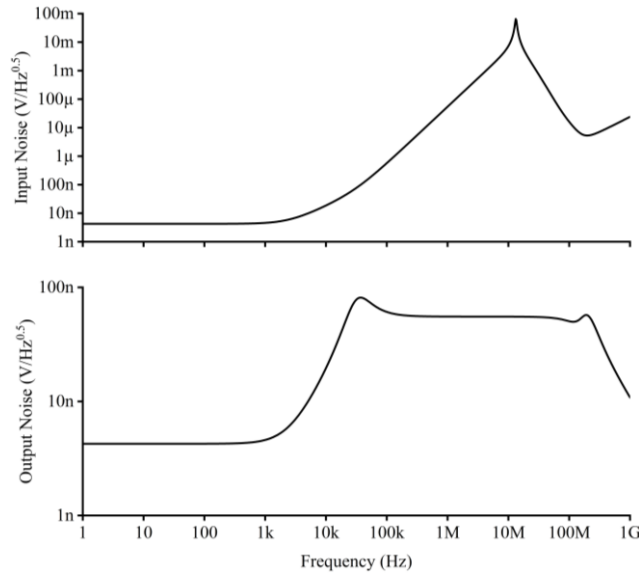


Fig. 12. The outcomes of the noise analysis results for the LP output of the application example.

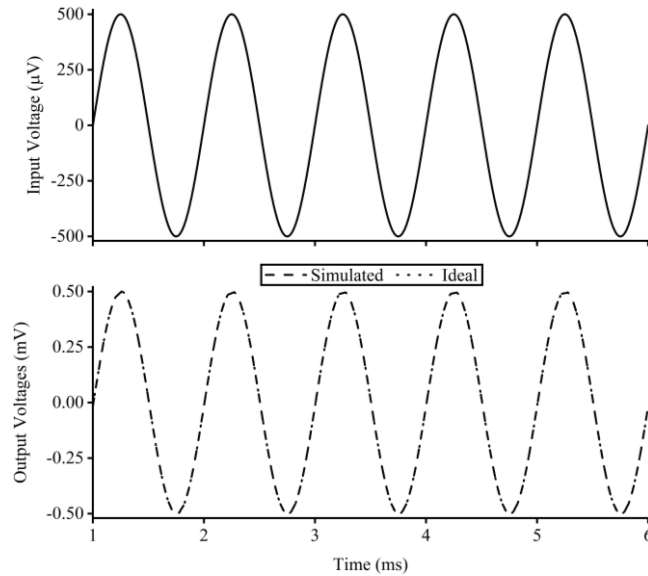


Fig. 13. The outcomes of the transient analysis results for the LP output of the application example.

5. Experiment Results

The designed GCM is implemented with AD844s [38], which are used instead of the CFOAs. AD844 is a commercially active device of the CFOA; thus, one CFOA can be built with one AD844. In Fig. 14, the experimental circuit is shown, where an additional AD844 and one resistor (R_i) are used as a current generator. The supply voltages of the AD844s are $\pm 12V$. The resistors R_1 and R_2 are taken as $1k\Omega$ and $10k\Omega$, respectively, while $C_1 = 1nF$. As a result of selecting these values of the proposed GCM in experiments, K and C_{eq} are ideally found as 11 and 11nF. Also, R_i of the current generator in Fig. 14 is selected as $4.7k\Omega$. Besides, $Z_{eq} = V_{out} \times R_i / V_{in}$ is taken for the experiments. The AC magnitude and phase outcomes are given in Fig. 15. The transient analysis is also made in which a sinusoidal input voltage with 0.6V peak-to-peak magnitude at 1kHz is applied. The results of the time-domain analysis are shown in Fig. 16. As seen in Fig. 16, it is clear that there is a phase difference of approximately 90° between the input and output signals of the proposed circuit, and the input impedance of the proposed GCM has a phase of -90° .

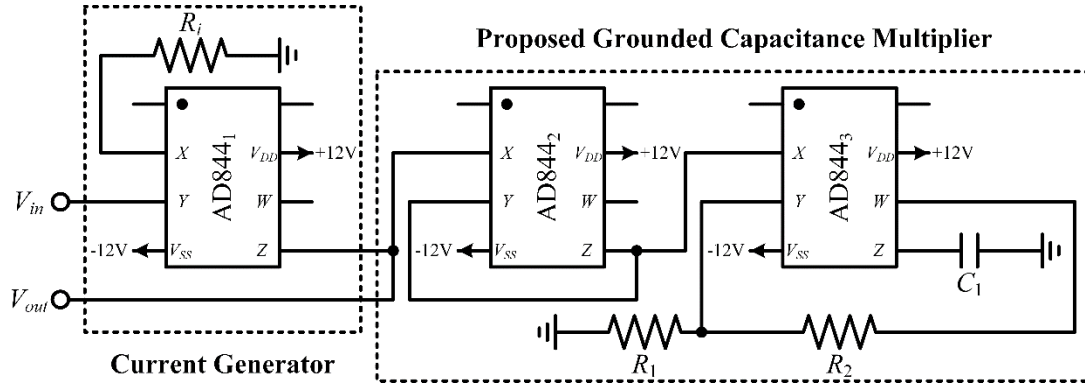


Fig. 14. Experimental circuit scheme of the proposed GCM.

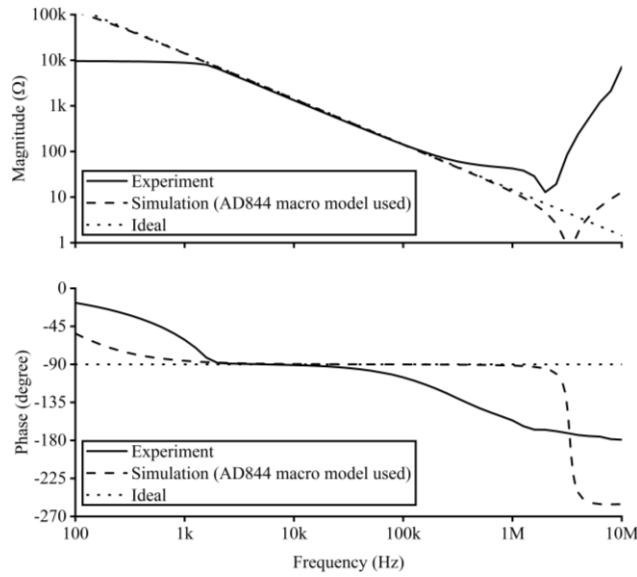


Fig. 15. The outcomes of the AC analysis results of the proposed GCM.

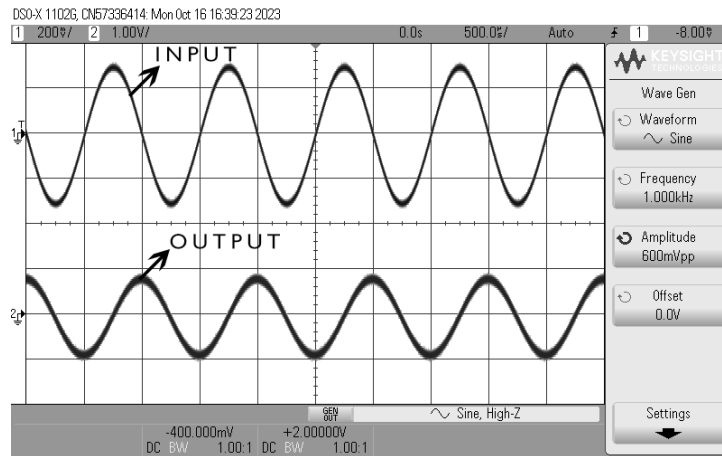


Fig. 16. Time-domain analysis outcomes of the proposed GCM.

6. Conclusion

In this manuscript, a new CFOA-based lossless GCM is designed. Two resistors, two CFOAs, and a capacitor are used in the designed GCM. The passive element matching conditions are not necessary for the designed circuit. One of the resistors is floating, and the other is grounded while the capacitor is grounded. The multiplying factor can be chosen to be very large, and the total power consumption is low enough. Simulations are performed by using the SPICE program, and the designed GCM is examined in a second-order passive filter application circuit. Also, all the simulations are performed with 0.18 μ m CMOS

technology parameters. The designed lossless GCM can be operated from 10Hz to 15MHz. The experiments are built on the breadboard, in which AD844s are utilized instead of the CFOAs. Also, the Keitley DSOX1102G digital oscilloscope and the Keitley 2220-30-1 DC power supply are used in the experiments. However, simulation and experiments verify the theory well, whereas parasitic impedances and non-idealities of the CFOA, parasitic impedances of the breadboard, and the non-idealities of the AD844s a bit influence the performances of the designed lossless circuit.

References

- [1] A. D. Amico, C. Di Natale, M. Mariucci, and G. Barccarani, "Active capacitance multiplication for sensor application," 1997.
- [2] B. Wilson, "Recent developments in current conveyors and current-mode circuits," *IEE Proc. G Circuits, Devices Syst.*, vol. 137, no. 2, pp. 63–77, 1990, doi: 10.1049/ip-g-2.1990.0014.
- [3] B. Wilson, "Tutorial review trends in current conveyor and current-mode amplifier design," *Int. J. Electron.*, vol. 73, no. 3, pp. 573–583, Sep. 1992, doi: 10.1080/00207219208925692.
- [4] C. Toumazou, F. J. Lidgey, and D. G. Haigh, *Analogue IC design: the current-mode approach*. London: The Institution of Engineering and Technology, 1993.
- [5] F. Giuseppe and N. C. Guerrini, *Low-voltage low-power CMOS current conveyors*. New York, United States of America: Kluwer Academic Publishers, 2004.
- [6] R. Senani, D. R. Bhaskar, and A. K. Singh, *Current Conveyors Variants, Applications and Hardware Implementations*. Cham: Springer International Publishing, 2015. doi: 10.1007/978-3-319-08684-2.
- [7] G. Ferri and N. C. Guerrini, "Low-voltage low-power novel CCII topologies and applications," in *ICECS 2001. 8th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems (Cat. No.01EX483)*, 2001, vol. 2, pp. 1095–1098. doi: 10.1109/ICECS.2001.957693.
- [8] E. Yuce, "DO-CCII/DO-DVCC based electronically fine tunable quadrature oscillators," *J. Circuits, Syst. Comput.*, vol. 26, no. 2, pp. 1–17, 2017, doi: 10.1142/S0218126617500256.
- [9] R. Verma, N. Pandey, and R. Pandey, "Capacitance characteristics behavior of 0.5 Order FC using CFOA based FC multiplier," *Adv. Electr. Electron. Eng.*, vol. 20, no. 1, pp. 43–56, 2022, doi: 10.15598/aeec.v20i1.3621.
- [10] R. Verma, N. Pandey, and R. Pandey, "Novel CFOA based capacitance multiplier and its application," *AEU - Int. J. Electron. Commun.*, vol. 107, pp. 192–198, 2019, doi: 10.1016/j.aeue.2019.05.010.
- [11] A. A. Khan, S. Bimal, K. K. Dey, and S. S. Roy, "Current conveyor based R- and C- multiplier circuits," *AEU - Int. J. Electron. Commun.*, vol. 56, no. 5, pp. 312–316, Jan. 2002, doi: 10.1078/1434-8411-54100121.
- [12] M. Dogan and E. Yuce, "A new CFOA based grounded capacitance multiplier," *AEU - Int. J. Electron. Commun.*, vol. 115, p. 153034, 2020, doi: 10.1016/j.aeue.2019.153034.
- [13] R. Arslanalp and T. Yucehan, "Capacitance multiplier design by using CFOA-," *2015 23rd Signal Process. Commun. Appl. Conf. SIU 2015 - Proc.*, pp. 1393–1396, 2015, doi: 10.1109/SIU.2015.7130102.
- [14] M. A. Al-Absi and M. T. Abuelma'atti, "A novel tunable grounded positive and negative impedance multiplier," *IEEE Trans. Circuits Syst. II Express Briefs*, vol. 66, no. 6, pp. 924–927, 2019, doi: 10.1109/TCSII.2018.2874511.
- [15] A. Fabre, "Gyrator implementation from commercially available transimpedance operational amplifiers," *Electron. Lett.*, vol. 28, no. 3, p. 263, 1992, doi: 10.1049/el:19920162.
- [16] R. Senani, "Realization of a class of analog signal processing / signal generation circuits: novel configurations using current feedback Op-Amps," *Frequenz*, vol. 52, no. 9–10, pp. 196–206, Sep. 1998, doi: 10.1515/FREQ.1998.52.9-10.196.
- [17] E. Yuce and S. Minaei, "A modified CFOA and its applications to simulated inductors, capacitance multipliers, and analog filters," *IEEE Trans. Circuits Syst. I Regul. Pap.*, vol. 55, no. 1, pp. 266–275, Feb. 2008, doi: 10.1109/TCSI.2007.913689.

- [18] T. Yucehan and E. Yuce, "A new grounded capacitance multiplier using a single ICFOA and a grounded capacitor," *IEEE Trans. Circuits Syst. II Express Briefs*, vol. 69, no. 3, pp. 729–733, 2022, doi: 10.1109/TCSII.2021.3102118.
- [19] E. Özer, M. E. Başak, and F. Kaçar, "Realizations of lossy and lossless capacitance multiplier using CFOAs," *AEU - Int. J. Electron. Commun.*, vol. 127, no. August, 2020, doi: 10.1016/j.aeue.2020.153444.
- [20] A. Toker, O. Cicekoglu, and H. Kuntman, "New active gyrator circuit suitable for frequency-dependent negative resistor implementation," *Microelectronics J.*, vol. 30, no. 1, pp. 59–62, Jan. 1999, doi: 10.1016/S0026-2692(98)00086-X.
- [21] V. Stornelli, L. Safari, G. Barile, and G. Ferri, "A new VCII based grounded positive/negative capacitance multiplier," *AEU - Int. J. Electron. Commun.*, vol. 137, no. April, p. 153793, 2021, doi: 10.1016/j.aeue.2021.153793.
- [22] A. Kumar, D. Singh, and D. Nand, "A novel CFDITA-based design of grounded capacitance multiplier and its transpose structure," *Circuits, Syst. Signal Process.*, vol. 41, no. 10, pp. 5319–5339, 2022, doi: 10.1007/s00034-022-02032-4.
- [23] D. R. Bhaskar, G. Mann, and P. Kumar, "OTRA-based positive/negative grounded capacitance multiplier," *Analog Integr. Circuits Signal Process.*, vol. 111, no. 3, pp. 469–481, 2022, doi: 10.1007/s10470-022-02032-z.
- [24] D. Ozenli, E. Alaybeyoglu, and H. Kuntman, "A tunable lossy grounded capacitance multiplier circuit based on VDTA for the low frequency operations," *Analog Integr. Circuits Signal Process.*, vol. 113, no. 2, pp. 163–170, 2022, doi: 10.1007/s10470-022-02077-0.
- [25] D. Ozenli and E. Alaybeyoglu, "An electronically tunable CMOS implementation of capacitance multiplier employing CCCDTA," *AEU - Int. J. Electron. Commun.*, vol. 155, no. August, p. 154359, 2022, doi: 10.1016/j.aeue.2022.154359.
- [26] D. Singh, D. Nand, and A. Kumar, "Newly realized grounded capacitance multiplier using single CFDITA," *2021 7th Int. Conf. Signal Process. Commun. ICSC 2021*, no. 1, pp. 362–365, 2021, doi: 10.1109/ICSC53193.2021.9673477.
- [27] M. Shrivastava, P. Kumar, A. Raj, and D. R. Bhaskar, "Single current follower differential input transconductance amplifier based grounded lossy capacitance multiplier with large multiplication factor," *Int. J. Numer. Model. Electron. Networks, Devices Fields*, no. May, pp. 1–13, 2023, doi: 10.1002/jnm.3139.
- [28] T. Unuk and E. Yuce, "DVCC+ based immittance function simulators including grounded passive elements only," *J. Circuits, Syst. Comput.*, vol. 30, no. 15, pp. 5–14, 2021, doi: 10.1142/S0218126621502789.
- [29] P. Moonmuang, T. Pukkalanun, and W. Tangsrirat, "Floating/grounded series/parallel R-L, R-C and L-C immittance simulators employing VDTAs and only two grounded passive elements," *AEU - Int. J. Electron. Commun.*, vol. 145, no. September 2021, p. 154095, 2022, doi: 10.1016/j.aeue.2021.154095.
- [30] T. Unuk, "DVCC+ based grounded simulator suitable for capacitance multiplier and frequency dependent negative resistor," *2023 33rd Int. Conf. Radioelektronika*, pp. 1–4, 2023, doi: 10.1109/RADIOELEKTRONIKA57919.2023.10109051.
- [31] S. Singh, Jatin, N. Pandey, and R. Pandey, "Electronically tunable grounded capacitance multiplier," *IETE J. Res.*, vol. 68, no. 4, pp. 2989–3000, 2022, doi: 10.1080/03772063.2020.1739573.
- [32] P. Moonmuang, M. Fasehuddin, T. Pukkalanun, N. Herencsar, and W. Tangsrirat, "VDTA-based floating/grounded series/parallel R-L and R-C immittance simulators with a single grounded capacitor," *AEU - Int. J. Electron. Commun.*, vol. 160, no. September 2022, p. 154502, 2023, doi: 10.1016/j.aeue.2022.154502.
- [33] N. Kumar, M. Kumar, and N. Pandey, "A programmable tunable active grounded and floating immittance circuit using CCTA and their applications," *Int. J. Electron.*, vol. 110, no. 1, pp. 73–106, 2023, doi: 10.1080/00207217.2021.2001876.
- [34] R. J. Baker, *CMOS Circuit Design, Layout and Simulation*, 4th ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2019, pp. 115–116
- [35] E. Yuce and S. Minaei, "Universal current-mode filters and parasitic impedance effects on the filter performances," *Int. J. Circuit Theory Appl.*, vol. 36, no. 2, pp. 161–171, Mar. 2008, doi: 10.1002/cta.418.

- [36] W. S. Hassanein, I. A. Awad, and A. M. Soliman, "New high accuracy CMOS current conveyors," *AEU - Int. J. Electron. Commun.*, vol. 59, no. 7, pp. 384–391, 2005, doi: 10.1016/j.aeue.2004.10.001.
- [37] S. Minaei and E. Yuce, "Novel voltage-mode all-pass filter based on using DVCCs," *Circuits, Syst. Signal Process.*, vol. 29, no. 3, pp. 391–402, Jun. 2010, doi: 10.1007/s00034-010-9150-3.
- [38] Analog Devices, "AD844 - 60 MHz, 2000 V/ μ s, Monolithic Op Amp With Quad Low Noise," *AD844 Data Sheet Rev. G*, pp. 1–20, 2017, [Online]. Available: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ad844.pdf>

Biomimicry: Journey to the Future with the Power of Nature

Elif Tezel Ersanlı ^a, Cem Cüneyt Ersanlı ^{b,1}

^a Department of Biology, Sinop University, Sinop, Turkey
ORCID ID: 0000-0003-0608-9344

^b Department of Physics, Sinop University, Sinop, Turkey
ORCID ID: 0000-0002-8113-5091

Abstract

Biomimicry involves studying and imitating nature's strategies and features in man-made design and technology. This approach fosters innovation in industrial, scientific, and design projects, drawing inspiration from the exceptional adaptations, processes, and structures of organisms. The primary goal of biomimicry is to comprehend the complexity and efficiency of natural ecosystems, leveraging this understanding to develop sustainable technologies and utilize natural resources more effectively. While humans have drawn inspiration from nature for thousands of years, the modern term gained popularity in the mid-20th century. Biomimicry is integral to sustainability, offering solutions in harmony with nature by integrating its balances into man-made systems. In medicine, biomimicry taps into the characteristics and processes of natural organisms to inspire innovative treatment methods and materials. In education, it equips students with the skills to comprehend and replicate nature responsibly, inspiring future designers and scientists. Ethical considerations emphasize that learning from nature should occur without causing harm to the natural environment. To unlock its full potential, biomimicry requires broader acceptance, integration into industrial applications, and technological advances for sustainable resource use. The energy sector, for instance, can benefit from biomimicry by enhancing the efficiency of solar panels through inspiration from photosynthesis, offering environmentally friendly energy production solutions. In essence, biomimicry is the key to discovering sustainable, innovative, and ethical solutions inspired by nature. As we delve into the richness of the natural world, this approach plays a pivotal role in shaping future technology and design. This review focuses on current biomimicry research, particularly highlighting its potential in the energy sector. The paper aims to serve as a blueprint for future achievements while shedding light on the unseen limitations of biomimicry.

Keywords: “Nature, biomimicry, energy, future.”

1. Introduction

For centuries, people have improved their lives by observing nature, being inspired by it and consciously or unconsciously using its wisdom. Nature has provided the most appropriate solutions to the challenges that humans face and people have used these solutions to better their lives. This view has been the basis of human innovation and problem solving since their historical existence. With the development of science and technology, great progress has been made in the fields of design and engineering inspired by nature. This approach has been called biomimicry since the 19th century. Biomimicry has gone beyond using the results of observation and has inspired a number of disciplines that study the genetic, functional, biological and physiological processes of observed organisms.

Today, biomimicry offers environmentally sensitive and sustainable solutions as well as making life easier with innovative designs inspired by nature. Biomimicry is a science that integrates the perfect designs of nature into human engineering and design. Derived from the Greek words “bios” (life) and “mimicry” (to imitate), biomimicry refers to learning from and imitating nature [1]. This approach shows that designs that combine functionality and aesthetics are also based on a scientific basis [2]. Throughout history, people have been inspired by nature to discover innovations and solutions that improve quality of life. Biomimicry takes this process of learning from and imitating nature even further, opening the door to more innovative designs and sustainable solutions in the future.

While explaining the basic principles of nature, Benyus emphasizes saving energy, maximizing the use of solar energy, recycling and creating a suitable form to fulfil the function [1]. Primlani, as one of the principles of biomimicry, suggests adapting to different conditions, solving problems, continuous development and obtaining the materials needed from nature [3]. Nature is defined as the totality of living and non-living things that are constantly changing within its own rules. The way nature

¹ Corresponding Author
E-mail Address: ccersanli@sinop.edu.tr

works is characterized by using solar energy, adapting form to function, recycling, rewarding cooperation, increasing diversity, favouring regional expertise, and using scarcity in the most effective way [1].

In this study, the concept of biomimicry, the basic principles, history, main application areas and future potential of biomimicry are examined. Furthermore, it focuses on recognizing examples of biomimicry, its current uses and future potentials by addressing the relationship of biomimicry with energy. The aim of this review is to contribute to the exploration of innovative ideas and solutions to be used in future design and engineering projects inspired by nature.

2. How Does Biomimicry Work?

Biomimicry involves understanding the solutions that organisms in nature have developed over years of natural selection and applying these solutions to man-made problems. Scientists and engineers are inspired by plants, animals, microorganisms and ecosystems to develop man-made technologies and designs.

3. Importance of Biomimicry

Sustainability: Biomimicry helps us use natural resources more effectively and minimize waste. This increases environmental sustainability.

Innovation: Excellent designs and processes in nature inspire people to develop more effective and innovative products.

Energy Saving: Biomimicry contributes to energy conservation by using principles learned from nature to improve energy efficiency.

Health and Medicine: Biomimicry enables the development of new treatments and medicines by understanding the defence mechanisms that organisms in nature develop against disease.

4. History of Biomimicry

Biomimicry is a concept that dates back thousands of years, but the emergence of biomimicry as a modern scientific discipline is more recent. Here are some important periods in the history of biomimicry:

Antiquity: Ancient civilizations created many designs inspired by organisms and natural phenomena in nature. For example, ancient Egyptian architects were inspired by nature when they built irrigation canals and dams to control flood levels in the Nile River. The ancient Greeks designed unmanned aerial vehicles inspired by the principles of bird flight.

Middle Ages: In the middle ages, the trend of design inspired by nature continued. Arab mathematicians and engineers in particular made important discoveries in astronomy and mathematics inspired by nature.

Renaissance Period: During the Renaissance, interest in the natural sciences increased and works of art and design inspired by nature emerged. Leonardo da Vinci left important notes on airplane design by studying birds.

18th and 19th Century: With the industrial revolution, inspiration from nature and interest in natural sciences increased. For example, the design of trains and ships was inspired by the morphology of fish. However, during this period, such designs were often random experiments, and biomimicry as a systematic scientific discipline had not yet developed.

20th Century: In the twentieth century, the concept of biomimicry began to emerge more prominently. Biologist Janine Benyus popularized biomimicry in 1997 with the publication of her book “Biomimicry: Innovation Inspired by Nature”. This book explained how biological organisms generate solutions in the natural world and showed how these solutions can be applied to human problems. Janine Benyus and others have taken steps to organize a social enterprise, Biomimicry 3.8, to share biomimicry ideas and concepts, as well as to connect interdisciplinary researchers, scientists, artists, engineers, business leaders and stakeholders.

5. Technology and Design Inspired by Nature

Biomimicry has been a source of inspiration in many fields of technology and design. In this section, innovative solutions in aerodynamic designs, materials engineering, architecture, robotics and healthcare will be examined in detail. Some examples of technology and design inspired by nature:

Aerodynamic Design: Birds, insects and sea creatures in nature have excellent aerodynamic properties for flight and swimming. Inspired by these organisms, aerodynamic designs of vehicles such as airplanes, drones and submarines have been developed. For example, the wing structure of birds has influenced the design of airplane wings. In Demir's (2020) [4] study, an attempt was made to design the rim wing.

Materials Engineering: Organisms in nature, especially insects and plants, use natural methods to produce durable and lightweight materials. Inspired by these properties, engineers have developed strong, lightweight and flexible materials. Durable materials inspired by spider webs are used in many fields, from construction to sporting goods. Excellent examples of biological optical systems and clues to their potential applications in textiles can be found in studies involving anatomical basis of photonic crystals in nature. Photonic crystals (also known as photonic band-gap materials) are periodic structures that have a band gap that forbids the propagation of a certain frequency range of light. As a result, photonic crystals always reflect only that specific band width (colour) of visible light [5]. Such structures are found in nature in butterfly wings, some plant species (bracts of edelweiss), marine creatures (e.g. brittlestar, *Ophiocoma wendtii*), opals [6], etc.

Robot Technology: The movement mechanisms of organisms in nature have played a major role in the development of robotic systems. For example, the movement mechanism of snakes has been a source of inspiration for robots that can work in narrow and difficult spaces. Also, swarm robots have been designed inspired by the behaviour of insects. These robots can perform complex tasks together, mimicking social insect organizations in nature. Many of the advancements made in the field of computers and robotics have been made possible due to an inspiration from nature. Observing the way insects behave gave us swarm algorithms, observing structure of neurons gave us Artificial Neural Networks etc. Biomimicry has been practiced since ancient times, and we are still learning from nature, whether in the field of robotics and smart systems, or in algorithms and networks [7].

Health and Medicine: The physiology and defence mechanisms of organisms in nature have led to significant advances in medicine and healthcare. Prosthetic limbs and artificial organs have been developed inspired by the body structures of organisms in nature. Material scientists have tried to emulate the nanofibrous structure and hierarchical architecture of fibrous tissues like tendon. Techniques usually combine a biomimetic scaffold with biological factors, such as cells and growth factors to provide physical and biochemical cues for tissue growth [8].

Energy Generation: Solar panel technology was inspired by photosynthesis mechanisms in nature. The design of wind turbines has also been optimized, inspired by bird wings. Novel strategies based on nature-inspired design will play a major role in future photovoltaic solar cells as a sustainable energy resource [9].

6. Biomimicry and Sustainability

Biomimicry aims to minimize the environmental impact of products inspired by nature. In this section, the importance of biomimicry in terms of sustainability will be discussed and the positive effects of products designed with biomimicry on nature will be emphasized. The relationship between biomimicry and sustainability is very important.

Optimizing Resource Use by Taking Lessons from Nature: Biomimicry is an important resource for understanding how organisms in nature effectively use resources and efficiently convert energy. With this knowledge, industrial processes and product designs can be optimized. In this way, more efficient products and processes can be developed using less energy and raw materials. Structure built by animal, or animal architecture is bound with nature, unlike human-made. Animals create their construction with sophisticated features that allows them to survive, such as, ventilation, temperature regulation, structural strength, multiple escape routes, traps, bait, special-purpose chambers and many other features. Animals build their constructions with a limited energy and within an eco-system. For example, Termite's mound is one of a perfect natural construction, with efficient passive ventilation system that can keep the interior temperature always stable whatever exterior temperature would be. Termites make their mound from wasted materials of plants and animals around their local area, the process of their construction produce nitrogen, phosphorus and organic materials that help to enrich the soil, fostering more plant and animal grow in the area. This is the best example to show that apart from the termite mound construction is efficient, the process of their construction also gives a positive impact to their environment. This is an important lesson for us, to learn and improve our construction design process and industry [10].

Waste Reduction and Recycling: Organisms in nature are excellent examples of waste minimization and recycling. Biomimicry takes inspiration from nature to develop new approaches to waste management and recycling. For example, fungi rapidly break down and recycle organic materials in nature. This can be applied to design and manufacturing processes in ways that help waste to quickly disappear in nature.

Sustainable Material Development: Biomimicry is used to understand how organisms in nature produce durable, lightweight and environmentally friendly materials. For example, materials inspired by spider webs have biodegradable properties while being strong and lightweight at the same time. Such materials can be used to replace single-use plastics and offer an environmentally friendly alternative.

Sustainable Agriculture and Plant Breeding: Biomimicry can also be applied to agriculture and plant breeding by studying how vegetation and ecosystems in nature are sustainably managed. Inspired by the way organisms in nature naturally protect themselves from pests, agricultural practices can be developed that reduce the use of chemical pesticides and do not harm ecosystems. Biomimicry seems to resonate quite well with some of the main issues around recent agricultural Technologies [11].

Green Energy Generation: Refers to the generation of electricity using environmentally friendly and sustainable energy sources. Such energy sources help to reduce greenhouse gas emissions while reducing the danger of natural life depletion, such as fossil fuels. In green energy production, more efficient energy production techniques can be developed by taking inspiration from energy conversion processes in nature and the way organisms store energy. Organisms in nature often use energy very efficiently. This feature can be studied with biomimicry to develop new ideas on energy efficiency. In green energy production, technologies inspired by organisms in nature can be developed to increase energy efficiency. Biomimicry can offer solutions for using renewable energy sources more effectively. For example, the design of solar panels can be inspired by plant leaves that capture sunlight most efficiently. Similarly, the design of wind turbines can be inspired by birds in nature that are capable of flight. Organisms in nature are organisms that can adapt to their environment and are made using sustainable materials. Biomimicry shows how sustainable materials can be learned from nature. Biomimicry principles can be applied in the production of green energy, the use of environmentally friendly materials and the development of recycling processes. Biomimicry encourages drawing inspiration from nature for creative design. When designing green energy technologies, it is possible to develop creative and sustainable solutions by studying the complexity and optimized structures of nature. For these reasons, biomimicry plays an important role in the process of finding innovative, environmentally friendly and sustainable solutions in the field of green energy production. This approach can shape the future of energy production technologies by drawing inspiration from the fact that natural systems and organisms are in harmony with nature. Plants use sunlight in a chemical process called photosynthesis to convert carbon dioxide into sugars whose solutions act as liquid fuel. Any artificial route to harvest solarenergy through a chemical process is bioinspired. Some biological structures such as the eyes of many species possess excellent anti-reflection coatings, and their implementation in conventional solar cells can enhance the light-harvesting efficiency, thereby providing an example of biomimetic methodology [12].

7. Biomimicry and Medicine

Biomimicry also has a great impact on the medical field. In this section, we will examine the uses of biomimicry in the medical industry and provide information about the treatment methods and medicines developed by taking inspiration from nature. In the future, biomimicry will have a greater impact through the combination of medicine, science, and biomedical engineering to treat diseases, physical disabilities, and wounds. Regenerative medicine and tissue engineering are particularly promising fields. Principles and functions of biomimetics that can be applied in biomedical engineering are derived from many sources, including how a lizard regenerates its tail and a buckhorn regenerates its horns every year, the adhesive, plegmatical, and regenerative properties of a spider web, and leukocyte adhesion/migration in inflammation [13].

Drug Development: Organisms in nature inspire us to develop drugs using the defence mechanisms they have naturally developed over the years against diseases. For example, peptides found in jellyfish venom have pain-relieving properties and can be used to treat severe pain. Likewise, the naturally occurring compounds produced by some plants could lead to drugs used to treat diseases such as cancer.

Wound Healing and Tissue Engineering: Biomimicry leads to important innovations in the fields of wound healing and tissue engineering by taking inspiration from the tissue healing processes of organisms in nature. For example, specialized cells in the skin of amphibians can help skin wounds heal faster. Furthermore, natural materials such as spider silk can serve as inspiration to produce durable and flexible materials for artificial tissues and organs used in tissue engineering.

Bacterial Resistance and Antibiotics: Organisms in nature have developed natural resistance mechanisms against bacteria. Inspired by these resistance mechanisms, a new generation of antibiotics can be developed to treat superbugs. In addition, natural antibiotics produced by organisms in nature can be used to treat diseases without harming human health.

Prosthetics and Artificial Organs: Biomimicry is used to develop prosthetic limbs and artificial organs inspired by the body structures of organisms in nature. The movement mechanisms of organisms in nature are studied to make artificial limbs work in a more natural way. In addition, the shapes and structures of organs in nature can be used as a basis for making artificial organs more compatible with the human body.

Research on Neurological Diseases: By studying the nervous systems of organisms in nature, biomimicry can work on the understanding and treatment of neurological diseases, and thus new treatment methods can be developed that can be used in the treatment of neurological diseases.

8. Biomimicry and Education

In this section, the place and importance of biomimicry in education will be discussed and information about biomimicry-oriented educational programs and projects will be provided. Biomimicry offers students the opportunity to understand the complexity of the natural world, develop problem-solving skills and promote scientific thinking. Biomimicry addresses sustainable methodologies into design education by following three essential elements: nature as model, nature as measure, and nature as an intrinsically valuable mentor. Laura et al. (2019) [14], researches examines, analyses and verifies biomimicry educational processes considering its use of analogical reasoning, determining which elements are fundamental when incorporating biomimicry into design education. Here is the relationship between biomimicry and education:

Promotes Scientific Thinking: Biomimicry requires using scientific methods to study the structures and functions of organisms in nature. This allows students to develop scientific thinking in the natural sciences. Scientific methods such as making observations, conducting experiments, analysing data and drawing conclusions are taught as a basis for biomimicry projects.

Develops Creative Problem Solving Skills: Biomimicry offers students the opportunity to develop creative problem solving skills. Understanding how organisms in nature develop appropriate solutions to various problems encourages students to generate creative ideas. This gives students the ability to find innovative and sustainable solutions to real world problems.

Promotes an Interdisciplinary Approach: Biomimicry promotes an approach that brings together different disciplines such as biology, physics, engineering, design and mathematics. It gives students the ability to address problems by building bridges between different disciplines and integrating knowledge. This gives students the ability to more effectively approach complex problems they will face in real life.

Environmental Awareness and Sustainability: Biomimicry means understanding nature's design principles and developing sustainable solutions inspired by nature. This gives students an environmental awareness and understanding of the principles of sustainability. In this way, future leaders can develop environmentally friendly and sustainable projects.

Opportunity to Get to Know Nature Closer: Biomimicry offers students the opportunity to understand the complexity of nature and the amazing harmony of organisms in nature. The design, function and adaptation of organisms in nature allow students to learn more about the natural world. This builds a love of nature and awareness of environmental protection.

9. Biomimicry and Ethics

Biomimicry should also be considered from an ethical perspective. Biomimicry practices have a responsibility to respect organisms and natural ecosystems and minimize the risk of harm when designing with inspiration from nature. Here is the relationship between biomimicry and ethics:

Respect for Natural Organisms: Biomimicry practices require respect for the natural habitats and life cycles of organisms when drawing inspiration from nature. Mimicking the natural behaviours or structures of organisms should be done without threatening their lives and disrupting natural balances.

Sustainability and Environmental Sensitivity: Biomimicry projects should be based on the principle of sustainability. When designing inspired by nature, it is important to minimize environmental impacts and conserve natural resources. Biomimicry practices should be environmentally friendly and energy efficient, reducing the risk of damaging natural ecosystems.

Risk of Damage to Organisms: There may be a risk of harming organisms during biomimicry practices. Therefore, biomimicry projects should prioritize ethical values and the welfare of organisms. While experiments on organisms should be ethical, the risk of harm should be minimized.

Social Benefit and Justice: It is important that biomimicry projects contribute to social benefit. These projects should benefit the wider society and comply with the principles of justice. Biomimicry applications should aim to increase social benefit in areas such as health, education, environment and economy.

Knowledge Sharing and Collaboration: It is important that the information obtained in biomimicry projects is clearly and accurately presented to the scientific community and the public. Information sharing and collaboration ensure that biomimicry projects contribute to scientific progress.

Rights of Future Generations: It is important that biomimicry practices carry the responsibility to protect the rights of future generations and natural resources. Biomimicry projects should aim for a sustainable future and leave natural resources available for future generations.

10. Future Potential and Challenges

Biomimicry has a lot of potential for the future, but challenges in this field should not be ignored. Here are the future potential and challenges of biomimicry:

Future Potential:

1. *Development of Innovative Technologies:* Biomimicry enables the development of innovative technologies inspired by nature. It can open the door to important innovations in areas such as more efficient energy production, sustainable materials, pharmaceuticals and health technologies, inspired by the excellent design of organisms in nature.

2. *Environmentally Friendly Products and Processes:* Biomimicry can help develop environmentally friendly products and production processes. Products and processes inspired by nature can use natural resources more efficiently and minimize waste generation, thus increasing environmental sustainability.

3. *Innovations in Health and Medicine:* Biomimicry enables the development of new treatment methods in health and medicine. Drugs, prostheses and treatment methods inspired by organisms in nature can improve the quality of life of patients and improve treatment processes.

4. *Advances in Education and Science:* Biomimicry can be used in education to understand the complexity of the natural world and provide students with the opportunity to study nature more closely. Furthermore, biomimicry can encourage collaboration between biology, physics, engineering and other disciplines, which can lead to more comprehensive and innovative solutions.

Challenges

1. *Lack of Scientific Understanding:* The complex structure and functions of organisms in nature may not be fully understood. This can complicate the application of biomimicry because it can be very difficult to design around a feature that is not fully understood.

2. *Ethical Issues:* Biomimicry practices may risk harming organisms while taking inspiration from nature. Therefore, it is important that biomimicry studies comply with ethical standards. It is a challenging task to develop biomimicry applications without harming the natural habitats of organisms or disrupting natural balances.

3. *Technological and Financial Challenges:* Developing and commercializing biomimicry applications can be costly. Moreover, designing inspired by nature can sometimes bring complex technical challenges. Therefore, adequate financial and technical resources are needed for the development of biomimicry applications.

11. Biomimicry and Energy Examples

Ecological architecture aims to minimize the energy consumption of a building and to ensure that the design and material selection are in line with this goal. With the application of passive design principles, it is aimed to contribute to the energy production of the building through material selection and systems to be integrated [15]. Michael Pawlyn argues that a radical change is required for energy saving and sustainability. This change includes a radical increase in resource efficiency, the use of resources in a linear and non-polluting way, and the transition from fossil fuels to solar energy. Biomimicry plays an important role in realizing these innovative solutions. Because this approach supports energy efficiency and sustainability by mimicking the natural cycles in nature and the functioning of living organisms [16]. When ecological architecture and biomimicry come

together, there is the potential to develop ground-breaking solutions in the design of environmentally friendly buildings and energy systems. In this way, by taking inspiration from the natural processes of nature, a step is taken towards a greener and more energy efficient future.

-Eastgate Center Building: This building stands out as an example inspired by the thermoregulation ability of organisms in nature. This feature was used in the design of the building to ensure energy savings and sustainability. Located in Zimbabwe and built by architect Mick Pearce, this building mimics the natural ventilation system of termite towers [17]. When building their nests, termites manage to control the temperature inside, regardless of the temperature outside. This control is achieved by maintaining optimum humidity levels and temperature regulation.

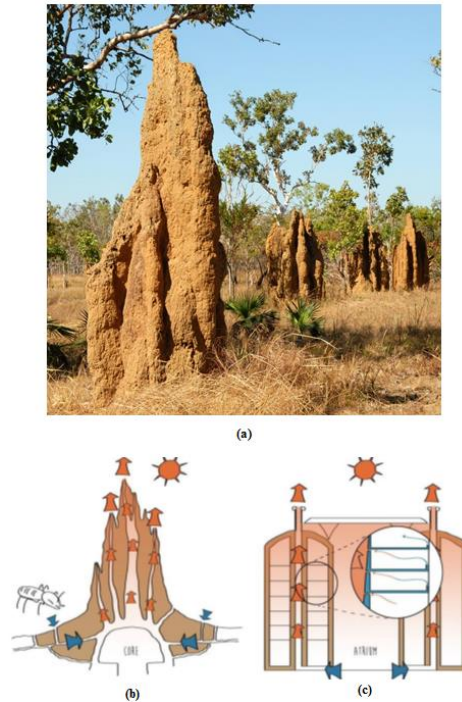


Fig. 1. (a) Termite mound [18]; (b) Termite mound architecture; (c) Eastgate Center [17].

Inspired by the excellent engineering skills of termites, the Eastgate Center building minimizes energy costs by implementing a natural ventilation system. The building manages natural ventilation with holes that can be opened and closed like termite nests. This planning principle developed by termites ensures a constant flow of air inside the building and effectively regulates energy use. This natural air movement, supported by fans in the design of the building, plays an important role in energy efficiency and reduction of greenhouse gas emissions [17]. The Eastgate Center building is a pioneering example of modern architecture inspired by nature's perfect adaptation, providing an inspiring model for energy conservation and environmentally friendly practices (Fig. 1).

-Fish House: Tsui designed this unique structure in response to his parents' request for a house that would be safe from natural disasters, protected from termites and offer a peaceful life. While researching these qualities, Tsui was inspired by the miracles of nature and discovered these qualities in a durable microscopic creature called the "Water Bear" [19]. This microscopic organism, known as a water bear, belongs to the invertebrate family and is known as one of the smallest animals in the world. They are characterized by their cylindrical body and four pairs of legs, as well as their extraordinary endurance (Fig. 2). Usually living in freshwater and humid areas, water bears are extremely resistant to extreme conditions. They can withstand radioactive rays, starvation and dehydration for long periods of time and are almost impossible to exterminate naturally. They can live all over the world, from the cold polar regions to tropical rainforests, from the ocean depths to the summit of the Himalayas. In addition, their ability to survive even in space has been discovered [20]. The design of the Fish House is inspired by this endurance and adaptability, creating a robust, aesthetic and environmentally harmonious living space. This building is a unique example of bringing nature's elegant and durable design to modern architecture.



(a)



(b) Fish House

Fig. 2. (a) Water bear (Tardigrade) [21]; (b) Fish House [22].

Fascinated by the unique resilience of tardigrades, Tsui meticulously studied the properties of these microscopic creatures and applied this knowledge to the Fish House project. Tsui was impressed by the fact that tardigrades do not have hard edges and their ability to spread the impacts they receive in their bodies, and made the structure ovoid (egg-shaped) to protect it against external impacts [19]. In order to increase stability against earthquakes and minimize the horizontal resistance created by wind and water, Tsui designed the walls of the building with a slight slope, adopting the sloping surfaces of the tardigrade's body structure. Large domed windows provide natural heat and light into the house, while the west-facing façade creates a natural air conditioning system to harness the wind. This design allows the building to remain stable, offering a high level of resilience against natural disasters. He also created a self-contained design to maximize energy savings, greatly improving the energy performance of Fish House [23]. In this way, Tsui has developed a unique house concept inspired by nature that combines sustainability, durability and energy efficiency in modern architecture.

-*San Leandro Civic Center*: Another design that Tsui created with micromorphic formation is the “San Leandro Civic Center” building he designed in 2014 (Fig. 3).



Fig. 3. Eugene Tsui's DNA-like tower design for a business and public building [24].

This public and office building has a design that is strikingly reminiscent of the DNA helix and is therefore also known as the DNA Tower. The spaces between the floors are carefully designed to reduce horizontal pressure from the wind and provide natural ventilation. In the center of the building is a core that connects the floors. In addition, the balconies on each floor have gardens that allow for the cultivation of crops. A wind turbine placed on the ground to meet the energy needs of the building supports the self-sufficient energy production of the building. This unique structure, reminiscent of a DNA helix, has a special structure to ensure maximum efficiency from the wind [23]. By combining aesthetics and functionality, this design offers an example of a sustainable building that mimics nature.

-*LAVA-Energy Storage Center*: It is a cylindrical structure that functions as a public sustainable energy information center (Fig. 4).



Fig. 4. Energy Storage Center (Stadtwerke Heidelberg-Model) (Germany) [25].

This unique building is characterized by its layered façade design. Its design is inspired by nature - spider webs, leaves and reptile skins - and focuses on flexibility, adaptability, energy transition, decentralization and networking. This design approach creates a dynamic and ever-changing play of light and shadow that animates the building with the wind. The building thus comes to life as a symbol of a new energy regime [16]. This building stands out as a unique energy storage center that combines the concept of sustainable energy with aesthetics and functionality inspired by nature.

-*Mandai Facility* is an innovative project in Singapore, realized by WOW Architects. The primary goal of this facility was to minimize its environmental footprint, with minimal impact on local wildlife. To achieve this goal, the main element of the facility is the tree houses raised off the ground. The design of these houses is inspired by the shape of a seed pod, giving them an aesthetic appearance in harmony with nature. In order to be in full harmony with the natural environment and to preserve the natural balance, the project has planned to plant native tree species. In addition, the roofs and facades of the resort's buildings are planted with plants that are in harmony with the environment. The interior design of the tree houses is inspired by natural flora and fauna, reflecting Mandai's rich biodiversity. This represents not only biomimicry design but also an approach that prioritizes energy efficiency. Energy saving measures to be used in the project include various technologies such as natural ventilation, mixed-mode air conditioning and solar panels. By saving energy through these methods, the facility is the first Super Low Energy facility in Singapore. Inspired by nature, the Mandai Facility is both aesthetically and environmentally remarkable because it is based on the principle of adapting to the natural environment without harming it.

- *The Heliotrope House* is a remarkable solar house built in Germany by architect Rolf Disch in 1990 (Fig. 5). This innovative design maximizes energy production with a system that follows the movement of the sun. The building has a circular floor plan and a cylindrical structure, which allows it to adapt to the movement of the sun and adapt to different thermal characteristics [26].

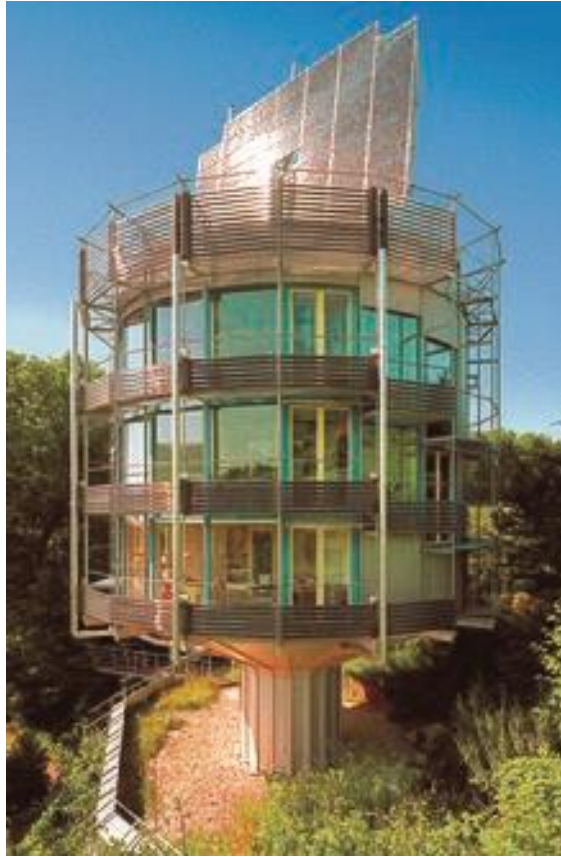


Fig. 5. Heliotrope House (Germany) [27].

The front façade of the building consists entirely of glass, while the rear façade is highly thermally insulated. This feature is utilized by enclosing the insulated rear side to keep the house cool on hot summer days. The roof of Heliotrope House features a large-scale photovoltaic system positioned in line with the sun. In addition, vacuum tube collectors on the balcony parapets provide energy for hot water and indoor heating [26]. This design not only maximizes energy production, but is also aesthetically pleasing because it combines sustainable living and energy efficiency, inspired by the power of nature.

- *Jellyfish Lodge*: A unique concept project inspired by nature. This house (Fig. 6) is inspired by the ability of special cells in jellyfish bodies to convert solar energy directly into electricity. This extraordinary structure, also known as Jellyfish Lodge, is not only aesthetically pleasing but also functional.



Fig. 6. Jellyfish Lodge [28].

The jellyfish-shaped structure filters polluted water with its long “tentacles” and collects the garbage in the water without harming wildlife. In addition, microbial digestion chambers measure the toxicity of the water and take an eco-friendly approach to the purification process. The cleaned water is pumped back into the river, supporting the natural cycle. The aquaponics garden

within the building provides a self-sufficient, productive and sustainable agricultural system where fish, plants and beneficial bacteria live in a symbiotic relationship. In addition, Jellyfish Lodge's retractable glass walls create an electrostatic field that repels mosquitoes and other microorganisms, creating a healthy indoor environment. This project stands out as an example that reflects the perfect balance of nature and sustainability using the principles of biomimicry.

- In a perfect example of nature, *the sunflower (girasol) grows* best by following the sun throughout the day. This natural behaviour is the inspiration Massachusetts Institute of Technology students found to improve the efficiency of solar panels. These students improve solar panels by utilizing the natural ability of sunflower flowers to change direction. The new model solar panels contain particles that can sense the sun. They sense the temperature difference between sunny and shady areas and orient themselves. This impressive system works without the need for any external energy source. Inspired by the fact that nature only uses as much energy as it needs, this system offers a more efficient way of energy production.

Since the sun is the main source of all energy on Earth, it is an ideal solution to utilize direct solar energy in designs. This is a reflection of the biomimicry approach, which respects the natural balance of nature and aims to use energy efficiently. Biomimicry offers important lessons on how living things in nature use energy efficiently. These examples show that biomimicry applications have the potential to create significant value for human societies in the future.

12. Conclusion and Evaluation

Biomimicry is an important approach that can provide innovative solutions to many challenges faced by humanity in the field of design and technology by taking inspiration from nature. This approach has great potential for future technological innovations and sustainability efforts. The topics covered in this study cover the broad spectrum of biomimicry, revealing the various application areas and potential in this field.

Biomimicry means understanding nature's perfect systems that have evolved over millions of years and using these systems in man-made solutions. This approach supports sustainability, as products and processes inspired by nature enable more efficient use of natural resources. Biomimicry also opens the door to innovation in the medical field; treatment methods and medicines inspired by the characteristics of organisms in nature can revolutionize the healthcare industry. In education, biomimicry offers students the opportunity to understand the complexity and harmony of nature. In this way, future designers and scientists can be inspired by nature and develop their solution-oriented thinking skills. However, it is of great importance that practices in the field of biomimicry are compatible with ethical values. Design processes based on learning from nature should not harm the natural environment and disrupt the natural balance. In the future, biomimicry will become even more important and has the potential to revolutionize many industrial sectors. Examples used in the energy sector will enable technologies such as solar panels and wind turbines to become more efficient and environmentally friendly by taking inspiration from nature.

In conclusion, biomimicry is an important tool for understanding the richness of nature and creating sustainable solutions for the future by taking inspiration from nature. Further exploration of this approach, supported by scientific research and industrial applications, will strengthen humanity's efforts to build a sustainable future in harmony with nature.

References

- [1] J. M. Benyus, *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*, New York: William Morrow and Comp, Inc. p. 308, 1997.
- [2] Ü. Ter and S. Derman, "Basic Design Teaching in Urban Planning Education: Planning Studio 1 Course Experience", *Journal of Art and Design*, vol. 6, no. 2, pp. 132-147, Apr, 2018, [Online serial]. Available: <http://www.adjournal.net/articles/62/629.pdf>. [Accessed Nov. 07, 2023].
- [3] R. V. Primlani, "Biomimicry: on the Frontiers of Design", *XIMB Journal*, vol. 10, no. 2, pp. 139-148, 2013.
- [4] M. T. Demir, "Aerodynamic Wing Design with Biomimetic Approach and a Practice", *Gazi University Journal of Science Part A: Engineering and Innovation*, vol. 7, no. 1, pp. 11-20, 2020.
- [5] K. Kerte'sz, Z. Ba'lint, Z. Ve'rtesy, G. I. Ma'rk, V. Lousse, J. Vigneron, and L. P. Biro', "Photonic crystal type structures of biological origin: structural and spectral characterization". *Current Applied Physics*, vol. 6, pp. 252-258. 2006, <https://doi.org/10.1016/j.cap.2005.07.051>.
- [6] P. Vukusic and J. R. Sambles, "Photonic structures in biology", *Nature*, 424, pp. 852-855. 2003. <https://doi.org/10.1038/nature01941>.
- [7] Kulkarni and C. Saraf, "Learning from Nature: Applications of Biomimicry in Technology", *IEEE Pune Section International Conference (PuneCon) MIT World Peace University, Pune, India. Dec 18-20, 2019.*

- [8] K. Amin, R. Moscalu, A. Imere, R. Murphy, S. Barr, Y. Tan, R. Wong, P. Sorooshian, F. Zhang, J. Stone, J. Fildes, A. Reid, and J. Wong, "The future application of nanomedicine and biomimicry in plastic and reconstructive surgery", *Nanomedicine (Lond.)*, vol. 14, no. 20, pp. 2679-2696. 2019.
- [9] N. Soudi, S. Nanayakkara, N. M. S. Jahed, and S. Naahidi, "Rise of nature-inspired solar photovoltaic energy convertors", *Solar Energy*, vol. 208, pp. 31-45, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.07.048>.
- [10] N. Chayaamor-Heil, "Biomimicry: optimization strategy from nature towards sustainable solutions for energy-efficient building design", *Hal Open Science*, pp. 1-18, 2020, <https://hal.science/hal-02866108>.
- [11] V. Blok and B. Gremmen, "Agricultural technologies as living machines: Toward a biomimetic conceptualization of smart farming technologies" *Ethics, Policy & Environment*, vol. 21, pp. 246-263, 2018.
- [12] Raúl J. Martín-Palma & Akhlesh Lakhtakia, "Engineered biomimicry for harvesting solar energy: a bird's eye view", *International Journal of Smart and Nano Materials*, vol. 4, no. 2, pp. 83-90, 2013, <https://doi.org/10.1080/19475411.2012.663812>.
- [13] J. Hwang, Y. Jeong, J. M. Park, K. H. Lee, J. W. Hong, and J. Choi, "Biomimetics: forecasting the future of science, engineering, and medicine", *International Journal of Nanomedicine*, vol. 10, pp. 5701-5713, 2015, <https://doi.org/10.2147/IJN.S83642>.
- [14] S. Laura, D. V. Marc, B. Mark, and K. Helen, "Biomimicry Design Education Essentials" in *Proceedings of the 22nd International Conference on Engineering Design (ICED19)*, Delft, The Netherlands, 5-8 August 2019. <https://doi.org/10.1017/dsi.2019.49>.
- [15] B. Bozdoğan, "Architectural Design and Ecology", 2013, Yıldız Technical University, Institute of Science and Technology, Master's Thesis, p. 130, İstanbul.
- [16] S. İner, "The Use and Development of Biomimicry and Parametric Design Relationship in Architecture", *Design Informatics*, vol. 1, no. 1, pp. 15-29, 2019, <https://doi.org/10.32955/neujfa202352782>.
- [17] M. G. Holguera, "Ecomimetics: An Ecosystem-Based Biomimetic Design Method for Innovative Built Environment", 2018, McGill University, Department of Bioresource Engineering, Thesis. [Online]. Available: <https://books.google.com.tr/books?id=bvypwgEACAAJ>. [Accessed Nov. 07, 2023].
- [18] URL1. [Online]. Available: https://pxhere.com/tr/photo/745938?utm_content=shareClip&utm_medium=referral&utm_source=pxhere. [Accessed Nov. 07, 2023].
- [19] M. Locke, "Love It or Loathe It: Berkeley Architect's Design a Sea Change in Housing", [Accessed Mar. 12, 1995].
- [20] J. Talanda and K. Zawierucha, "First Record of Water Bears (Tardigrada) from Sponges (Porifera)", *Turkish Journal of Zoology*, vol. 41, no. 1, pp. 161-163, 2017, <https://doi.org/10.3906/zoo-1510-4>.
- [21] [21] URL2. [Online]. Available: <https://dogabilim.org/su-ayisi-zor-kosullara-meydan-okuyan-canli/>. [Accessed Nov. 07, 2023].
- [22] URL3. [Online]. Available: <https://www.berkeleyside.org/2015/11/30/how-quirky-is-berkeley-eugene-tssuis-fish-house-part-1>. [Accessed Nov. 07, 2023].
- [23] E. Tsui, *Evolutionary Architecture: Nature as a Basis for Design*. New York, John Wiley & Sons, 342 p. 1999.
- [24] URL4. [Online]. Available: http://bit.do/san-leandro_civic-tower-eugene-tssui [Accessed Dec. 27, 2019].
- [25] URL5. [Online]. Available: <https://www.swhd.de/pressefotos?ConsentReferrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F>. [Accessed Nov. 07, 2023].
- [26] P. Gruber, *Biomimetics in Architecture*, Strauss GmbH, Morlenbach, Germany. 2011.
- [27] URL6. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Heliotrope_%28building%29. [Accessed Nov. 07, 2023].
- [28] URL7. [Online]. Available: <https://www.arkitera.com/haber/suyu-temizleyen-denizanası-evi/>. [Accessed Nov. 07, 2023].

Air Pollution Assessment in Turhal District: Temporal Analysis of Pollutants

Yeliz Durgun ^{a,1}

^a Tokat Gaziosmanpaşa University, Turhal Vocational School, Tokat, Turkey
ORCID ID: 0000-0003-3834-5533

Abstract

Since the last century, the rapidly increasing global population, along with industrialization and urbanization, has increased the type and amount of pollutants in the atmosphere. Particularly, the dependency on fossil fuels for energy production, transportation, and industrial activities has become one of the main sources of air pollution. This has led to an air pollution problem that negatively affects the quality of life in urban areas. However, in this study conducted in the Turhal district of Tokat, an optimistic development has been observed in recent years. Based on the data obtained from the air quality monitoring stations located in the region, the concentrations of pollutants such as PM₁₀, NO₂, NOX, and SO₂ have been thoroughly examined. The analysis results indicate a significant decreasing trend in the concentrations of these pollutants from 2020 to 2023. This positive trend can be attributed to the increasing awareness of environmental protection, technological innovations, and societal consciousness. The study demonstrates the positive impacts on regional air quality during this period.

Keywords: “Air pollution, pollutants, seasonal analysis, time frame.”

1. Giriş

Modern dünyanın karşı karşıya olduğu en ciddi çevresel tehditlerden biri hava kirliliğidir[1]. Bu problem, kentleşme, ulaşım ve sanayileşme gibi etmenlerin bir araya gelmesiyle derinleşmektedir[2]. Bu üç etmen, bir kısır döngü oluşturarak birbirlerini tetiklemekte ve kötüleştirilmektedir. Sanayileşmenin artması, endüstriyel tarım uygulamalarının benimsenmesini beraberinde getirmiştir[3][4]. Bu, kırsal bölgelerde iş imkanlarının azalmasına yol açarak kırdan kente göçü hızlandırmıştır[5][6]. Kentlerin büyümesiyle birlikte, nüfus yoğunluğu ve ulaşım ihtiyaçları da artmıştır. Bu hem trafik yoğunluğunu artırmış hem de egzoz emisyonlarının atmosfere salınmasına neden olmuştur[7][8]. Hava kirliliğinin tanımı, atmosferde zararlı gaz ve taneciklerin varlığına dayanmaktadır[9][10]. İnsan faaliyetleri ve doğal olaylar sonucunda atmosferin doğal bileşimini değiştiren bu gaz ve tanecikler, yoğunluklarına ve atmosferde kaldıkları süreye bağlı olarak canlılara zarar verebilmektedir. Özellikle yanlış kentleşme, uygunsuz yakma teknikleri, yeşil alanların azalması gibi faktörler hava kirliliğini daha da artırmaktadır. Bu kirleticiler, atmosfere erişim yollarına göre birincil ve ikincil olarak sınıflandırılmaktadır. Günümüzde hava kirliliği, çevre sorunları arasında en üst sıralarda yer almakta ve hem doğa hem de insan sağlığını ciddi anlamda tehdit etmektedir[11]. Bu kirlilik, atmosferde yabancı maddelerin insan ve diğer canlıların sağlığına zarar verecek miktarlarda bulunmasını ifade eder. Tarih boyunca, hava kirliliğinden kaynaklanan kitlesel olaylar binlerce insanın hayatını kaybetmesine neden olmuştur[12]. Dünya Sağlık Örgütü'nün verilerine göre, dünya nüfusunun büyük bir çoğunluğu, hava kalitesi sınır değerlerinin üzerindeki bölgelerde yaşamaktadır[13]. Bu, kalp hastalığı, inme, kronik obstrüktif akciğer hastalığı gibi birçok hastalığın artmasına yol açmaktadır. Hava kirliliği konusunda en fazla endişe duyulan kirleticilerden biri partikül madde (PM)'dir. Bu maddeler, atmosferde solunabilir partiküller olarak bulunan sülfat, nitratlar, amonyak, sodyum klorür, siyah karbon ve mineral toz gibi bileşenlerden oluşur. PM, taşıtların yanı sıra endüstriyel faaliyetler, kömür ve petrol yanmaları sonucunda atmosfere salınır. Bu partiküller, akciğerlere derinlemesine nüfuz edebilir ve kardiyovasküler, serebrovasküler ve solunum sistemlerine zarar verebilir. Dünya Sağlık Örgütü, PM'yi akciğer kanserinin bir nedeni olarak sınıflandırmıştır[14].

Günümüzde hava kirliliği, küresel bir sorun haline gelmiştir[15][16]. Türkiye'de de 1950'lerden itibaren bu sorunla mücadele edilmeye başlanmıştır. Bu dönemde yaşanan hızlı nüfus artışı, kentleşme ve sanayileşme, enerji ihtiyacını karşılamak adına petrol ve kömür gibi yakıtların tüketimini artırmıştır[17][1]. Bu çalışmanın amacı, Türkiye'deki hava kirliliğinin sebeplerini, etkilerini ve önemini incelemek ve Turhal bölgesindeki hava kalitesine odaklanarak bu konuda alınabilecek önlemlere dikkat çekmektir.

¹ Corresponding Author
E-mail Address: yeliz.durgun@gop.edu.tr

Türkiye'de hava kirliliğinin ana sebepleri arasında kırsaldan kentsel bölgelere göç, hızla artan nüfus, sanayileşme ve ulaşım bulunmaktadır[18]. Bu faktörler, enerji üretimi için kömür ve petrol tüketiminin artmasına sebep olmuş, bu da atmosfere salınan kirletici gazların miktarını arttırmıştır. Özellikle kötü kaliteli katı yakıtların yanması sonucu atmosfere salınan kükürt dioksit (SO₂) gazı, canlılar için zehirleyici bir özellik taşımaktadır. Ayrıca, motorlu araçların egzozlarından yayılan azot dioksit (NO₂) emisyonları da hava kirliliğine katkıda bulunmaktadır. Turhal, Tokat iline bağlı bir ilçedir ve nüfus yoğunluğu, trafik yoğunluğu, sanayi ve inşaat sektörü faaliyetleriyle dikkat çekmektedir. Bu çalışma kapsamında Turhal hava izleme istasyonundan elde edilen verilerle bölgedeki SO₂, PM10, NO₂ ve NOX emisyonları takip edilmiştir. Bu değerlerin mevsimsel, çevresel ve toplumsal etkileri üzerine odaklanılarak, bölgedeki hava kirliliğinin sebepleri ve etkileri incelenmiştir.

Dünya Sağlık Örgütü, hava kirliliğinin azaltılmasıyla milyonlarca erken ölümün önlenebileceğini belirtmektedir[19]. Bu nedenle, hava kirliliğiyle mücadele edilmesi büyük bir öneme sahiptir. Türkiye'de hava kirliliği seviyelerinin kabul edilen sınırların üzerinde seyrettiği göz önünde bulundurulduğunda, bu mücadelede daha etkili ve sürdürülebilir çözümler üretilmesi gerekmektedir. Özellikle endüstriyel tesislerden, konutlarda ısınma amaçlı yakıt tüketiminden ve motorlu taşıt egzozlarından kaynaklanan kirlilik, etkin bir şekilde kontrol altına alınmalıdır. Hava kalitesi indeksi, halkın hava kalitesi hakkında bilgilendirilmesi için kullanılacak etkili bir araçtır[20]. Bu indeks sayesinde, halkın soluduğu havanın kalitesi hakkında bilgi verilerek, sağlıklarını nasıl koruyacakları konusunda eğitimler verilebilmektedir. Sonuç olarak, hava kirliliği, çağımızın en büyük çevresel sorunlarından biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sorunun çözümü için kentleşme, sanayileşme ve ulaşım gibi ana etmenlerin dikkate alınarak sürdürülebilir politikaların benimsenmesi gerekmektedir. Türkiye'de hava kirliliğiyle mücadele etmek, hem insan sağlığını korumak hem de çevresel sürdürülebilirliği sağlamak adına büyük bir öneme sahiptir. Özellikle sanayileşme ve kentleşmenin hızla devam ettiği bölgelerde, bu sorunla etkili bir şekilde mücadele edilmesi gerekmektedir.

2. Yöntem

Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağ'ından toplanan veriler doğrultusunda Tokat'ın Turhal ilçesi için 3 yıl boyunca izlenen PM10, NO₂, NOX ve SO₂ emisyonları yıl, ay, mevsim ve günün belirli zaman dilimlerine göre analiz edilmiştir. 2020 yılından başlanarak 2023 yılına kadar elde edilen verilerden şekiller oluşturulmuş ve incelenmiştir. Turhal'da bulunan istasyon bilgileri hakkında detaylı bilgi Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. İstasyon Bilgileri (Turhal İlçe Raporu, 2023)

| İstasyon Adı | Tipi | Koordinatları |
|--------------|------------------------|----------------------------------|
| Turhal | Kentsel Hava İstasyonu | Enlem: 40.38562 Boylam: 36.08286 |

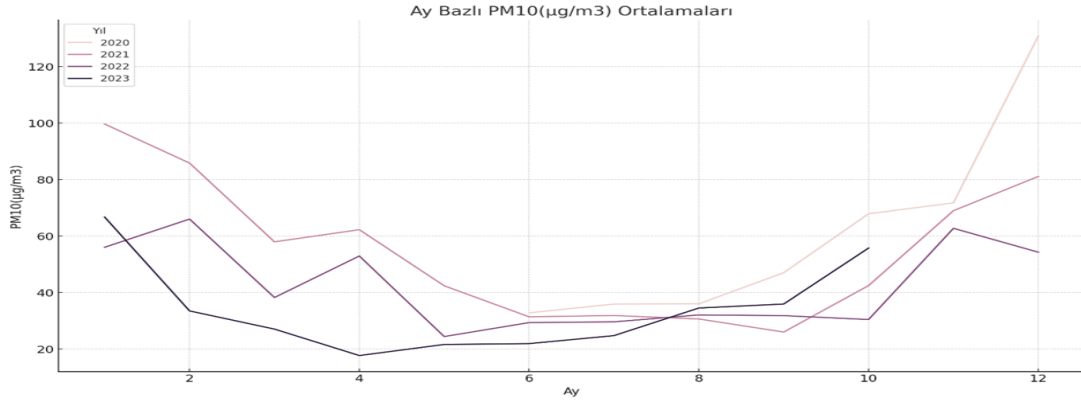
2020 yılında Turhal Belediyesi bahçesine kurulan ve hava kalitesi ölçümü yapılan Merkezi Hava Kalitesi İzleme istasyonu, şehrin ana arteri olan Gültekin Topçam caddesine yakınlığı, dolmuş ve otobüs duraklarının hemen yanında olması sebebiyle merkezinin hava kalitesini karakterize etmektedir. İstasyon, şehrin ana yollarının kesişim noktasında ve genel olarak yerleşim yerlerine yakınlığı ile bilinmektedir. İstasyon konum itibarı ile konutların ve kentsel yaşam alanlarının (kültür merkezleri, okullar, park ve bahçeler, eğlence merkezleri vs.) yoğun olduğu kentin ana arterlerinden biri olan Yavuz Sultan Selim Caddesine 3 metre, Menderes Caddesine 100 metre mesafede bulunmaktadır. İstasyon, toplamda 16 m² yerleşim alanına sahip Turhal Atatürk Ortaokulunun bahçesinde açık alanda konumlanmıştır.

3. Bulgular

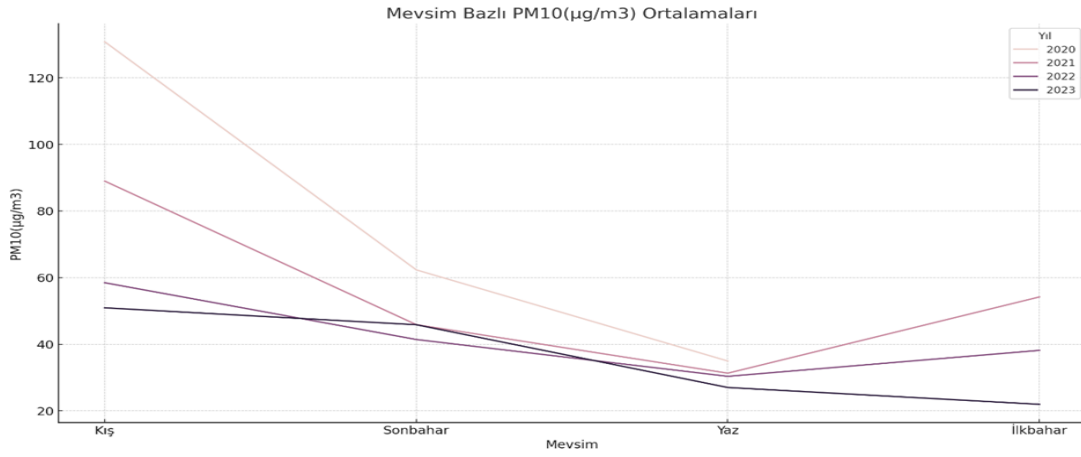
Hava kalitesi izleme ağı istasyonundan elde edilen veriler Şekil 1, Şekil 2, Şekil 3, Şekil 4, Şekil 5, Şekil 6, Şekil 7, Şekil 8, Şekil 9, Şekil 10, Şekil 13, Şekil 14 Şekil 15 ve Şekil 16'de detaylı olarak verilmiş ve çalışma sonuçları ile ilgili verilerin değerlendirmeleri alt başlıklar halinde aşağıda açıklanmıştır.

3.1. PM10 Kirleticisinin Analizi

Ay bazlı PM10 konsantrasyon grafiği incelendiğinde, konsantrasyonun yılın farklı aylarında değişiklik gösterdiğini görmekteyiz. Özellikle yaz aylarında PM10 konsantrasyonunun artış gösterdiği dikkat çekmektedir. Bu, yaz aylarında artan sıcaklıkların ve kurak koşulların partikül maddenin havada asılı kalmasına neden olabileceğini göstermektedir.

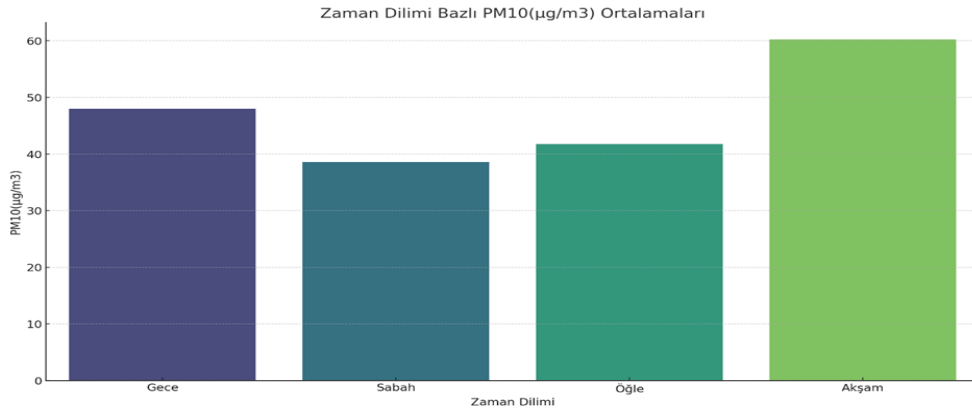


Şekil 1. PM10 Ay Bazlı Grafiği



Şekil 2. PM10 Mevsim Bazlı Grafiği

Mevsime göre PM10 konsantrasyonunu incelediğimizde, yaz mevsiminde diğer mevsimlere göre daha yüksek konsantrasyonlarla karşılaştığımızı görmekteyiz. Bu durum, yaz mevsiminin özellikle kurak ve sıcak geçtiği bölgelerde daha belirgin olabilir.

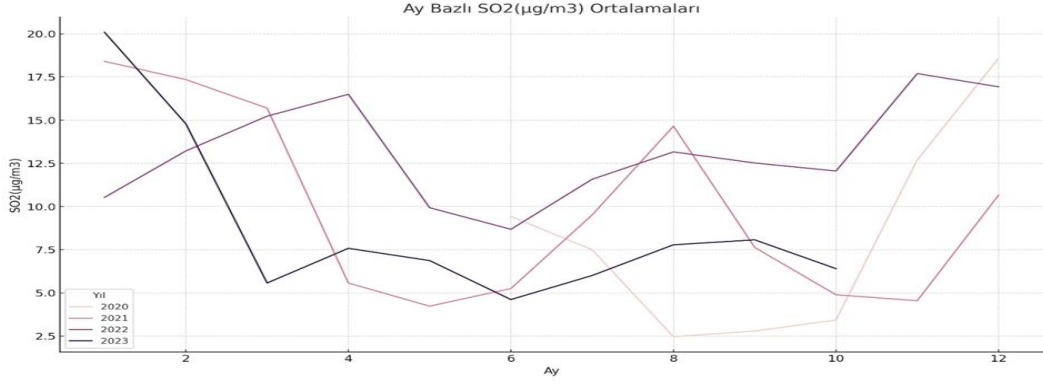
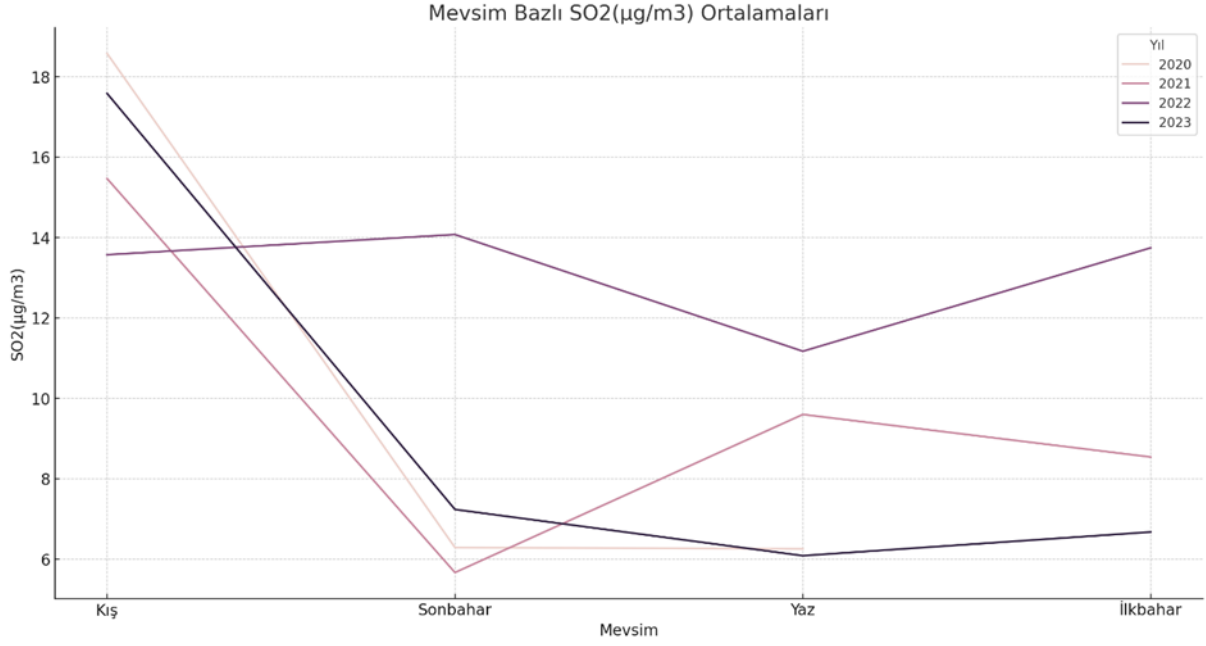


Şekil 3. PM10 Zaman Dilimi Bazlı Grafiği

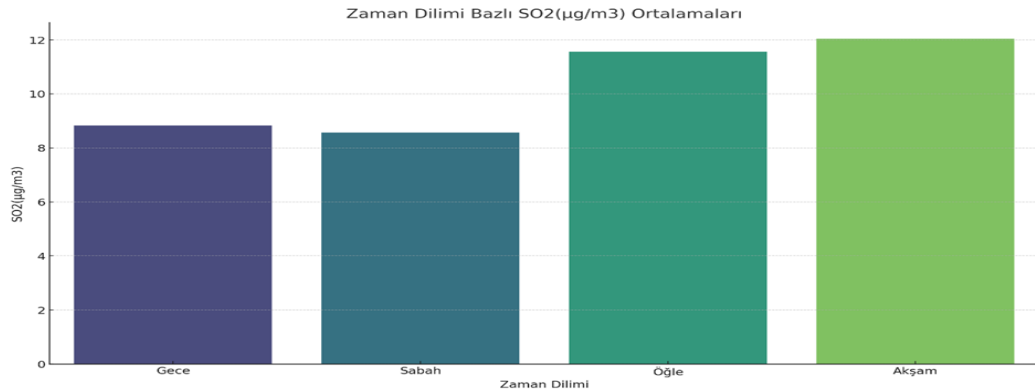
Zaman dilimi bazında PM10 konsantrasyonuna baktığımızda, öğle saatlerinde konsantrasyonun artış gösterdiğini görmekteyiz. Bu, güneş ışığının ve sıcaklığın partikül maddenin havada asılı kalmasına katkıda bulunduğunu gösterir.

3.2. SO₂ Kirleticisinin Analizi

Ay bazında SO₂ konsantrasyonu grafiği incelendiğinde, konsantrasyonun belirli aylarda artış gösterdiği gözlemlenmektedir. Kış aylarında SO₂ konsantrasyonunun artış gösterdiği dikkat çekmektedir. Bu, kış aylarında kullanılan ısıtma sistemlerinin, özellikle kömür ve odun yakıtlı sistemlerin, SO₂ emisyonlarına katkıda bulunabileceğini göstermektedir.

Şekil 4. SO₂ Ay Bazlı GrafiğiŞekil 5. SO₂ Mevsim Bazlı Grafiği

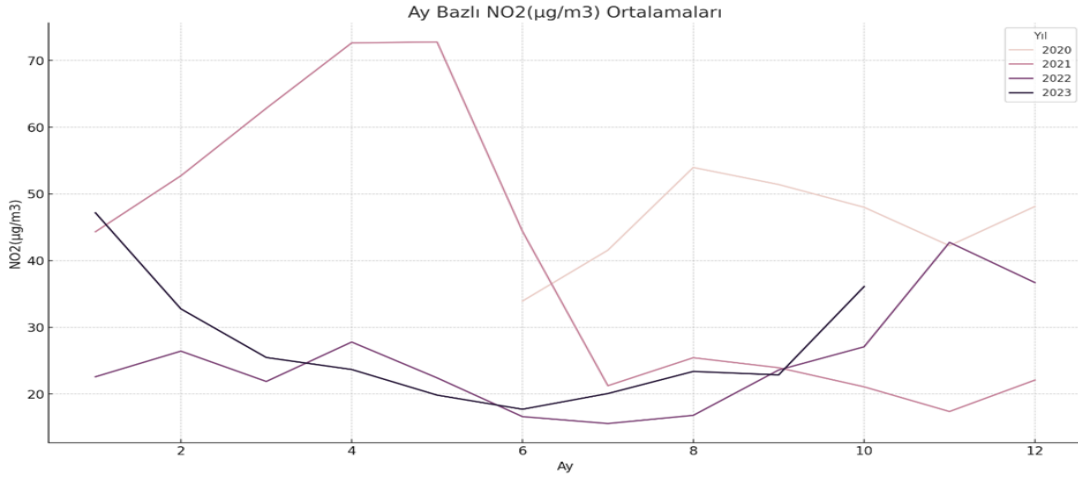
Mevsim bazında SO₂ konsantrasyonuna baktığımızda, kış mevsiminde diğer mevsimlere göre daha yüksek konsantrasyonlarla karşılaştığımızı görmekteyiz. Bu, kış mevsiminde fosil yakıtların yanmasından kaynaklanan SO₂ emisyonlarının artabileceğini işaret etmektedir.

Şekil 6. SO₂ Zaman Dilimi Bazlı Grafiği

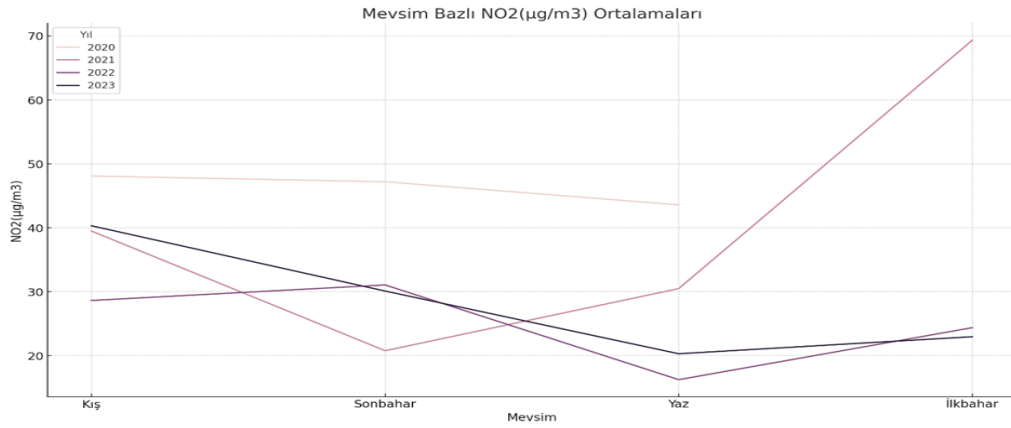
Zaman dilimi bazında SO₂ konsantrasyonu, gün içinde belirli saatlerde değişkenlik göstermektedir. Özellikle sabah saatlerinde SO₂ konsantrasyonunun artış gösterdiği gözlemlenmektedir. Bu durum, sabah saatlerinde endüstriyel faaliyetlerin ve trafik yoğunluğunun SO₂ emisyonlarına etki edebileceğini göstermektedir.

3.3. NO₂ Kirleticisinin Analizi

Ay bazında NO₂ konsantrasyonunu incelediğimizde, konsantrasyonun belirli aylarda artış gösterdiğini görmekteyiz. Özellikle kış aylarında NO₂ konsantrasyonu yüksek seviyelerde seyretmektedir. Bu, kış aylarında artan ısıtma ihtiyacı ve motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyonların bu artışta etkili olabileceğini göstermektedir.

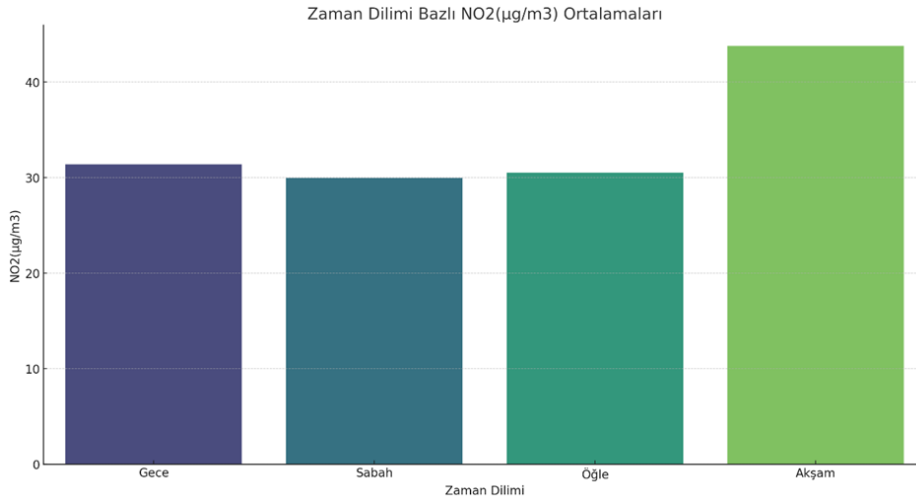


Şekil 7. NO₂ Ay Bazlı Grafiği



Şekil 8. NO₂ Mevsim Bazlı Grafiği

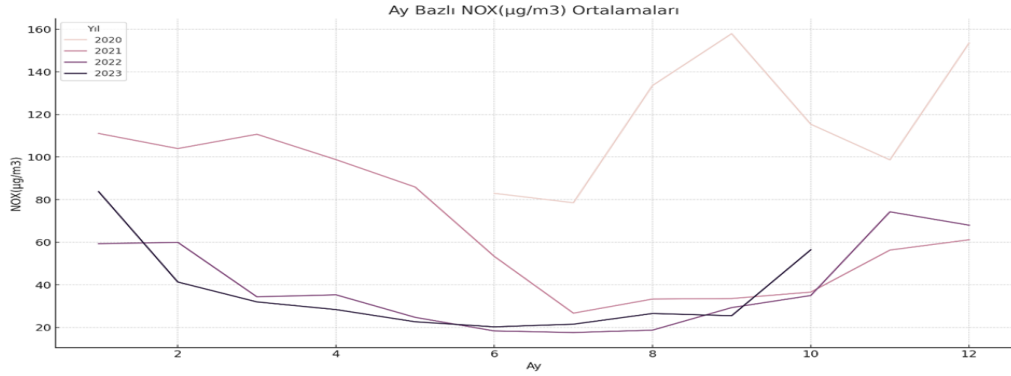
Mevsim bazında NO₂ konsantrasyonu en yüksek değerini kış mevsiminde göstermektedir. Bu durum, kış aylarında atmosferik koşulların ve insan kaynaklı faaliyetlerin NO₂ konsantrasyonunu artırabileceğini işaret etmektedir.



Şekil 9. NO₂ Zaman Dilimi Bazlı Grafiği

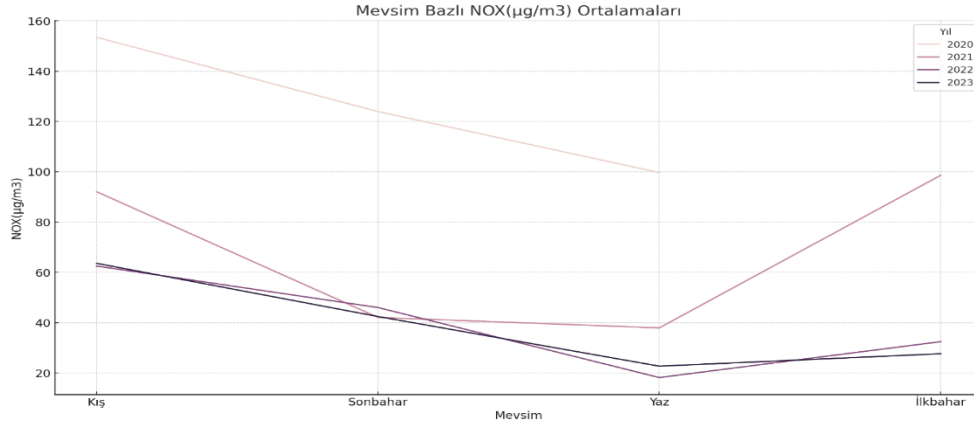
Zaman dilimine göre NO₂ konsantrasyonu, öğle saatlerinde azalış göstermektedir. Bu, sabah ve akşam saatlerindeki trafik yoğunluğunun NO₂ konsantrasyonunu etkileyebileceğini göstermektedir.

3.4. NOX Kirleticisinin Analizi



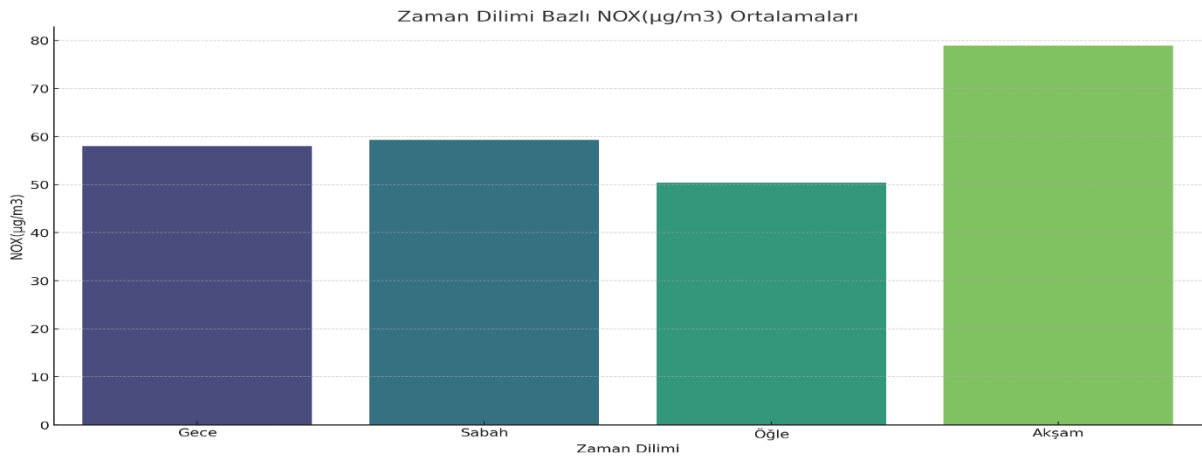
Şekil 10. NOX Ay Bazlı Grafiği

Ay bazında NOX konsantrasyonu, kış aylarında artış göstermektedir. Bu durum, kış aylarında artan ısıtma ve taşıt kullanımının NOX emisyonlarını artırabileceğini göstermektedir.



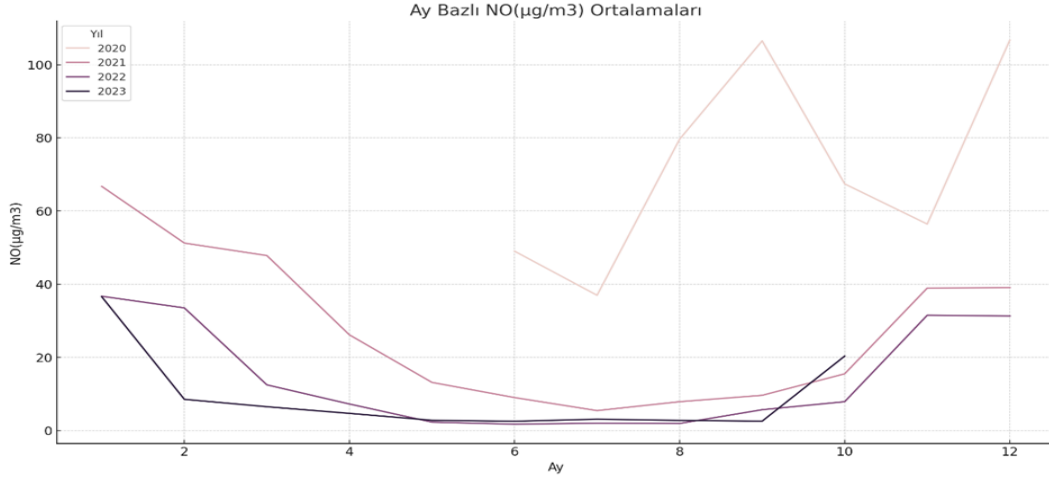
Şekil 11. NOX Mevsim Bazlı Grafiği

Mevsimlere göre NOX konsantrasyonu, kış mevsiminde en yüksek değerleri göstermektedir. Bu, atmosferik koşulların ve insan aktivitelerinin bu kirlenici üzerinde etkili olduğunu göstermektedir.



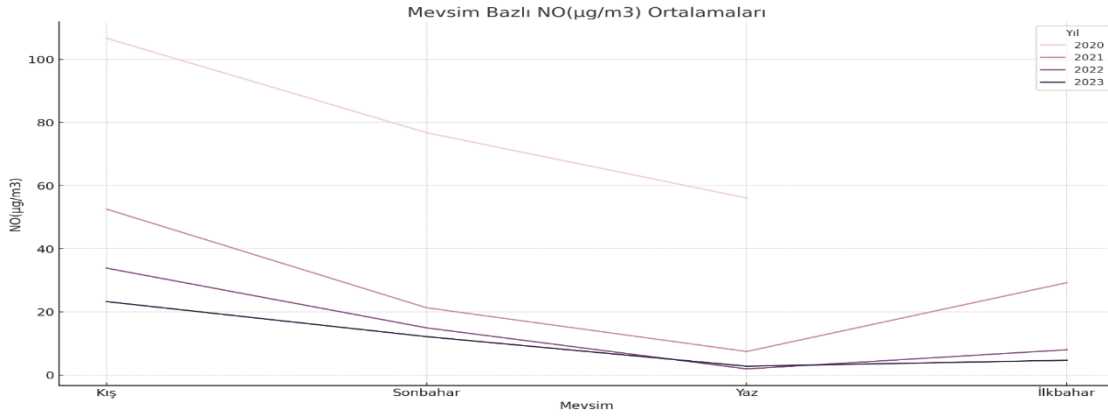
Şekil 12. NOX Zaman Dilimi Bazlı Grafiği

Zaman dilimi bazında NOX konsantrasyonu, özellikle sabah saatlerinde yüksek seviyelerde seyretmektedir. Bu, sabah saatlerindeki trafik yoğunluğunun ve endüstriyel aktivitelerin bu kirlenici üzerinde etkili olabileceğini göstermektedir.



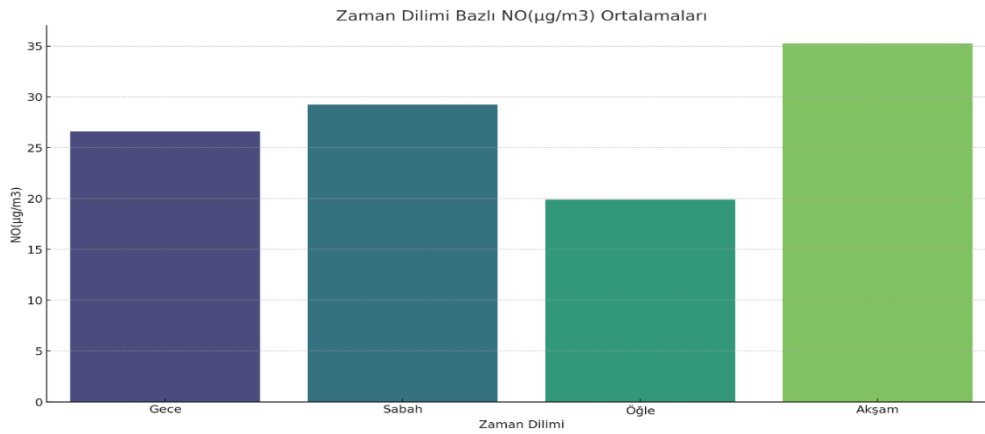
Şekil 13. NO Ay Bazlı Grafiği

Ay bazında NO konsantrasyonu değişkenlik göstermektedir. Özellikle kış aylarında NO konsantrasyonunun artış gösterdiği dikkat çekmektedir.



Şekil 14. NO Mevsim Bazlı Grafiği

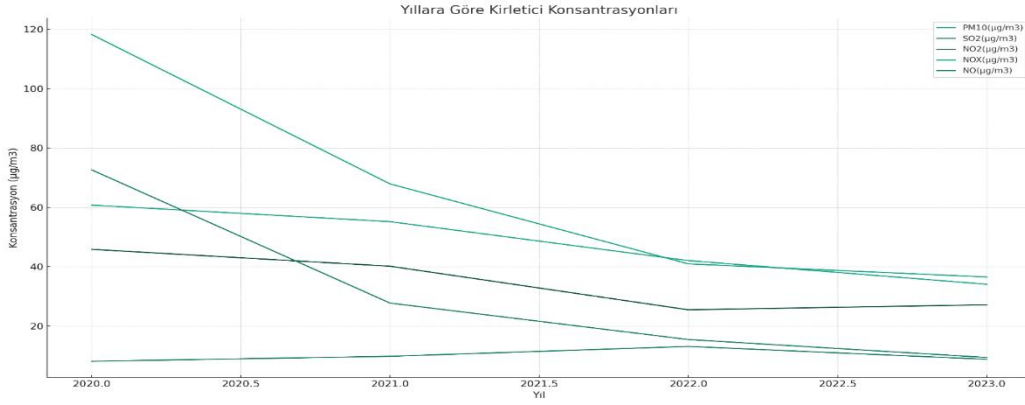
Mevsim bazında NO konsantrasyonunun kış mevsiminde artış gösterdiği gözlemlenmektedir. Bu durum, kış aylarında artan taşıt kullanımı ve ısıtma ihtiyacının bu kirlenici üzerinde etkili olduğunu göstermektedir.



Şekil 15. NO Zaman Dilimi Bazlı Grafiği

Zaman dilimine göre NO konsantrasyonu, günün farklı saatlerinde değişiklik göstermektedir. Özellikle sabah saatlerinde konsantrasyonun artış gösterdiği gözlemlenmektedir.

3.5. Yıllara Göre Kirlenici Konsantrasyonlarının Analizi



Şekil 16. Yıllara Göre Kirlenici Konsantrasyonları

Yıllara göre kirlenici konsantrasyonlarını incelediğimizde, genel bir düşüş trendi gözlemlenmektedir. PM10, NO₂, NOX ve SO₂ konsantrasyonları son yıllarda belirgin bir şekilde azalmıştır. Bu, çevresel bilincin artması, teknolojik gelişmelerin ve çevre koruma politikalarının olumlu etkilerini göstermektedir. Özellikle fosil yakıtların yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artması, taşıtlarda daha temiz yakıt teknolojilerinin kullanılması gibi faktörler bu düşüşte etkili olmuş olabilir.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, belirli kirlenicilerin konsantrasyonlarının yıl, ay, mevsim ve günün belirli zaman dilimlerine göre nasıl değiştiğini inceledik. Yaptığımız analizler sonucunda şu sonuçlara ulaştık:

1. PM10, NO₂, NOX ve SO₂ gibi belirli kirlenicilerin konsantrasyonlarında son yıllarda genel bir düşüş trendi gözlemlendi. Bu, çevresel bilincin artmasının, teknolojik gelişmelerin ve çevre koruma politikalarının olumlu etkilerini yansıtmaktadır.
2. Mevsimsel değişiklikler, özellikle PM10 konsantrasyonunda belirgindi. Yaz aylarında artan sıcaklık ve kuraklık, partikül maddenin havada asılı kalmasına katkıda bulunabilir.
3. Zaman dilimine göre yapılan analizler, sabah ve akşam saatlerinde trafik yoğunluğunun ve endüstriyel faaliyetlerin belirli kirlenicilerin konsantrasyonlarını etkileyebileceğini gösterdi.

Bu sonuçlar, çevresel politikaların ve toplumsal bilincin kirlenici konsantrasyonları üzerindeki etkisini göstermektedir. Özellikle, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artması, taşıtlarda daha temiz yakıt teknolojilerinin kullanılması ve hava kalitesi üzerindeki farkındalığın artması gibi faktörler, bu olumlu gelişmelere katkıda bulunmuştur. Bununla birlikte, hala alınması gereken önlemler ve izlenmesi gereken stratejiler bulunmaktadır. Özellikle endüstriyel bölgelerde ve yoğun trafikli şehir merkezlerinde, hava kalitesinin sürekli olarak izlenmesi ve gerekli adımların atılması büyük önem taşımaktadır.

Referanslar

- [1] I. Manisalidis, E. Stavropoulou, A. Stavropoulos, and E. Bezirtzoglou, "Environmental and health impacts of air pollution: a review," *Front. public Heal.*, vol. 8, p. 14, 2020.
- [2] P. J. Rimmer, "Urbanization problems in Thailand's rapidly industrializing economy," in *Thailand's Industrialization and its Consequences*, Springer, 1995, pp. 183–217.
- [3] F. F. Mendels, "Proto-industrialization: the first phase of the industrialization process," *J. Econ. Hist.*, vol. 32, no. 1, pp. 241–261, 1972.
- [4] R. Allen, "Agriculture during the industrial revolution," *Econ. Hist. Britain since*, vol. 1700, no. 3, pp. 96–123, 1994.
- [5] P. C. Bhattacharya, "Rural–urban migration in economic development," *J. Econ. Surv.*, vol. 7, no. 3, pp. 243–281, 1993.

- [6] M. McCatty, "The process of rural-urban migration in developing countries," *An honours essay Submitt. fulfilment degree Bachelor Arts to Dep. Econ. Carlet. Univ. Ottawa, Ontario*, 2004.
- [7] T. Litman, "Determining optimal urban expansion, population and vehicle density, and housing types for rapidly growing cities," in *Proceedings of the World Conference on Transport Research, Shanghai, China*, 2016, pp. 10–15.
- [8] F. Amato *et al.*, "Urban air quality: the challenge of traffic non-exhaust emissions," *J. Hazard. Mater.*, vol. 275, pp. 31–36, 2014.
- [9] F. Golbabaei and M. Khadem, "Air pollution in welding processes—Assessment and control methods," *Curr. air Qual. issues*, pp. 33–63, 2015.
- [10] L. A. Barrie, "Arctic air pollution: An overview of current knowledge," *Atmos. Environ.*, vol. 20, no. 4, pp. 643–663, 1986.
- [11] L. Flower, "Environmental pollution-especially air pollution-and public health," *AU JT*, vol. 10, no. 1, pp. 29–37, 2006.
- [12] K. Zhang and S. Batterman, "Air pollution and health risks due to vehicle traffic," *Sci. Total Environ.*, vol. 450, pp. 307–316, 2013.
- [13] W. H. Organization, *Air quality guidelines for Europe*. World Health Organization. Regional Office for Europe, 2000.
- [14] E. Brambilla, W. D. Travis, T. V Colby, B. Corrin, and Y. Shimosato, "The new World Health Organization classification of lung tumours," *Eur. Respir. J.*, vol. 18, no. 6, pp. 1059–1068, 2001.
- [15] A. Dimitriou and V. Christidou, "Causes and consequences of air pollution and environmental injustice as critical issues for science and environmental education," *Impact Air Pollut. Heal. Econ. Environ. Agric. Sources*, pp. 215–238, 2011.
- [16] A. K. Jain and K. A. S. Hayhoe, "Global air pollution problems," *Handb. Atmos. Sci.*, pp. 339–371, 2003.
- [17] S. R. Mudakkar, K. Zaman, M. M. Khan, and M. Ahmad, "Energy for economic growth, industrialization, environment and natural resources: living with just enough," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 25, pp. 580–595, 2013.
- [18] K. Bilen *et al.*, "Energy production, consumption, and environmental pollution for sustainable development: A case study in Turkey," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 12, no. 6, pp. 1529–1561, 2008.
- [19] A. J. Cohen *et al.*, "The global burden of disease due to outdoor air pollution," *J. Toxicol. Environ. Heal. Part A*, vol. 68, no. 13–14, pp. 1301–1307, 2005.
- [20] K. R. Cromar, M. Ghazipura, L. A. Gladson, and L. Perlmutter, "Evaluating the US Air Quality Index as a risk communication tool: Comparing associations of index values with respiratory morbidity among adults in California," *PLoS One*, vol. 15, no. 11, p. e0242031, 2020.

Prediction of Chicken Diseases by Transfer Learning Method

Mustafa Can Bingol ^a, Gürkan Bilgin ^{b,1}

^a Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Turkey
ORCID ID: 0000-0001-5448-8281

^b Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Turkey
ORCID ID: 0000-0002-8441-1557

Abstract

With the development of computing technologies, artificial intelligence is used in a wide range of areas, from engineering to healthcare. In this study, it was aimed to predict chicken diseases with transfer learning. For this purpose, a ready-made data set was studied. This data set contains fecal photographs of healthy chickens diagnosed with Coccidiosis, Newcastle and Salmonella diseases. The data set has been subjected to necessary pre-processing such as size readjustment. Subsequently, the data set, which was then subjected to pre-processing, was divided into 70% and 30% as training and testing. To solve the disease classification problem, a network was created by adding fully connected layers to ResNet50, InceptionV3, InceptionResNetV2, Xception and MobileNetV2 architectures. The weights of the architectures mentioned in these networks were selected as ImageNet and were not trained. Then, networks containing these architectures were trained using the training data set. The trained networks were validated with the test data set and accuracy rates of 32.7%, 80.6%, 85.2%, 89.2% and 90.7% were obtained, respectively. According to these results, MobileNetV2 was used in the proposed artificial neural network architecture since the best result was calculated using the MobileNetV2 architecture. The proposed artificial neural network architecture was trained with the same training set and validation was carried out with the same test data set. After these procedures, the true prediction rate of the proposed architecture for the test data set was calculated as 92.1%. Also, F1 score of the proposed architecture was measured 0.923. Additionally, thanks to the deconvolution layer used in the proposed architecture, network sizes have been reduced by approximately 50%. Thanks to this reduction, the training time is shortened and it becomes easier to implement it on embedded systems in future studies. As a result, the diseases of chickens were predicted largely accurately with the transfer learning method.

Keywords: “Transfer learning, deconvolution, neural network.”

1. Giriş

Tavuk eti, kaliteli protein, düşük yağ oranı, zengin vitamin-mineral içeriği ve düşük maliyetinden dolayı insanlar tarafından sıklıkla tercih edilen bir besindir. Her organizma gibi tavuklarda içerisinde bulunduğu çevrede parazitler, virüsler ve bakteriler gibi bir çok tehdit ile karşı karşıyadır. Örneğin, Eimeria cinsi apikompleksan protozoonları ile enfekte olan bir tavuk, Koksidiyoz hastalığına yakalanmış olur. Bu hastalık intestinal kanalda gelişim gösterdiği için ağırlık artışının yavaşlaması ve ikincil bakteriyel enfeksiyona karşı duyarlılık artışı gibi semptomlar ile enfekte olmuş bir tavuğu öldürebilir [1]. 1926 yılında İngiltere'nin Newcastle şehrinde ilk defa görülen Newcastle hastalığı virüs kaynaklı bir hastalıktır. Bu hastalık akut şekilde tavukların bağırsaklarında oluşan öldürücü bir hastalıktır [2]. Salmonella patojenik bakteri türü bir çok hayvanda semptomatik enfeksiyona neden olur. Bu bakteri türünün bazı serotipleri aynı zamanda insana gıda kaynaklı bulaşabilir. Bu serotiplerden biri olan Salmonella Gallinarum bakterisi ile enfekte olmuş ergin tavuklarda ölüm oranının %10-93 değerlerinde olduğu rapor edilmiştir [3].

Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte yapay zeka uygulamaları robotikten [4] sağlığa [5,6,7] ve ahşap yapı malzemelerine [8] kadar birçok alanda kullanılmaktadır. Örneğin Zu ve ekibi, tavuklarda üreme verimini arttırabilmek için vücut ısılarını ölçebilme gerekliliği problemini belirlemişlerdir. Bu problemin çözümü için, en doğru vücut ısını ağızlarından alınabileceği belirtilmiş ve bu doğrultuda gagalarının açık olup olmadığını ayıran bir yapay sinir ağı geliştirmişlerdir [9]. Bir diğer çalışmada, bir makine öğrenimi yöntemi olan Destek Vektör Makinası (DVM) kullanarak bir çiftlikte bulunan ölü tavukları algılayan bir uygulama geliştirmişlerdir [10]. Bakar ve arkadaşları 2022 yılında tavukların kafalarının görüntülerini enfekte ve sağlıklı olarak sınıflandırmışlardır [11]. Bir diğer çalışmada çiftlikte bulunan tavukların yerinin tespit edilmesi problemi yapay sinir ağı kullanılarak çözülmüştür [12]. Chen ve ekibi ise çiftlikteki tavukların anormal bir dağılımında olup olmadığını tespit eden bir uygulamayı makine öğrenmesi ve derin öğrenme algoritmalarından yararlanarak geliştirmişlerdir [13].

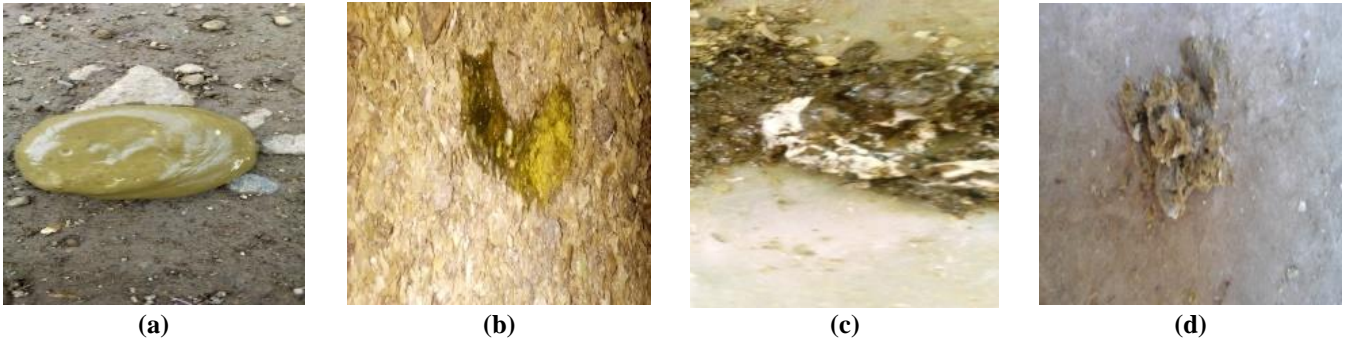
¹ Corresponding Author
E-mail Address: gbilgin@mehmetakif.edu.tr

Öğrenme transferi, daha önceden başka bir veri seti kullanılarak eğitilen bir yapay sinir ağı ağırlıklarının benzer bir problem için iyileştirilmesidir. Bu sayede ağırlıklar, uzun süre tekrar eğitimden kısa bir sürede arzu edilen yeni veri seti için iyileştirilmiş olur. Literatürde bu yöntemi kullanan çalışmalar mevcuttur. Örneğin, geleneksel bir robot, öğrenme transferi kullanılarak asistan bir robota dönüştürülmüştür [14]. Bir diğer çalışmada, sığırların analizinde kullanılmak üzere ön meme yerleşim pozisyonunu bulabilecek bir uygulamayı öğrenme transferi yöntemi ile gerçekleştirmişlerdir. Yapılan bu çalışmadan önceden eğitilmiş mimari olarak MobileNet, Xception ve VGG16 kullanılmıştır [15]. Bir diğer çalışmada ise sığırların ayak ve ağız hastalıkları MobileNetV2 kullanılarak sınıflandırılmıştır [16]. Hao ve ark. bireysel sığır tanıma sistemi gerçekleştirmeyi hedeflemişlerdir. Bu hedef doğrultusunda geliştirdikleri uygulamanın temel yapı taşlarından biri öğrenme transferi olmuştur [17].

Yapılan bu çalışmada tavuk dışkılarının görüntüleri kullanılarak tavukların sağlıklı veya hasta olup olmadıkları ve hasta tavuklarda ise hastalık türünün tespit edilmesi planlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda hasta tavuklarda hastalık çeşitlerinin ve herhangi bir hastalığı bulunmayan sağlıklı tavukların ayırımının yapılabilmesi için önceden eğitilmiş yapay sinir ağı yapısının bir başka problem için iyileştirilmesi esasına dayanan öğrenme transferi işlemi kullanılmıştır. Uygulanacak işlem basamakları ve ayrıntılı anlatımı materyal ve metod bölümünde açıklanmıştır. Ayrıca materyal ve metod bölümünde çalışmada kullanılan veri setinin hangi hastalıkları barındırdığından ve veri seti içerisindeki görüntü sayılarından bahsedilmiştir. Çalışmada kullanılan mimariler hakkında bilgiler yine materyal ve metod bölümünde verilmiştir. Son bölüm olan bulgular bölümünde ise eğitim ve test veri setleri kullanılarak yapılan analizlerin kayıp fonksiyonu ve doğruluk değerleri sonuçlarına göre mimarilerin karşılaştırma grafikleri sunulmuştur. Ayrıca yine bulgular bölümünde eğitilen mimarilerin toplam parametre sayıları ve eğitilen parametre sayıları verilmiş, eğitim sonrası test veri setine göre elde edilen kesinlik, duyarlılık, F1 skoru ve yüzde doğruluk değerleri verilmiştir. Sonuç ve tartışma kısmında ise elde edilen bulgular yorumlanarak gelecek çalışma perspektifi çizilmeye çalışılmıştır. Bu plan doğrultusunda yazının devamı materyal metod, bulgular, sonuç ve tartışma olarak organize edilmiştir.

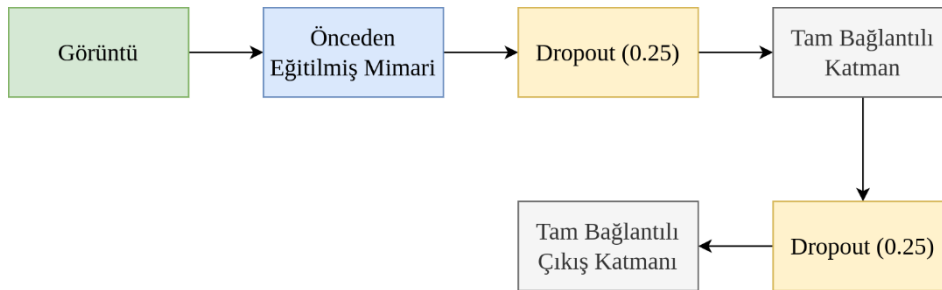
2. Materyal ve Metod

Yapılan çalışmada, tavuk hastalıkları görüntü sınıflandırması veri seti [18] kullanılmıştır. Bu veri seti içerisinde toplam 8067 adet tavuk dışkısı fotoğrafı vardır. Bu dışkı görüntüleri, Koksidiyoz hastalığı (2476), Newcastle hastalığı (562), Salmonella hastalığı (2625) olan ve herhangi bir hastalığı bulunmayan sağlıklı (2404) tavuk dışkılarından oluşmaktadır. Bu veri seti sabit disk üzerinde 294,1 MB yer kaplamaktadır. Veri setine ait görüntüler ve ait olunan sınıflar Şekil 1’de sunulmuştur.



Şekil 1. Veri setine ait görüntüler, (a) Koksidiyoz Hastalığı, (b) Newcastle Hastalığı, (c) Salmonella Hastalığı, (d) Sağlıklı.

Görüntüler veri setinden elde edildikten sonra öğrenme transferi işlemi Şekil 2’de sunulan yöntem ile gerçekleştirilmiştir.



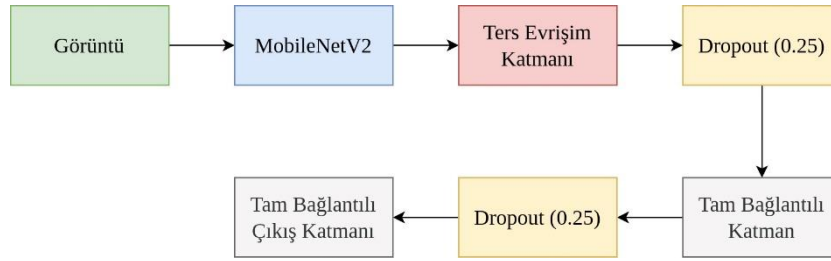
Şekil 2. Öğrenme transferi blok diyagramı.

Görüntü sabit disk üzerinden okuduktan sonra ilk olarak önceden eğitilmiş mimarilerde işleme tabi tutulmuştur. Yapılan bu çalışmada kullanılan mimariler sırası ile ResNet50 [19], InceptionV3 [20], InceptionResNetV2 [21], Xception [22] ve MobileNetV2’dir [23]. Kullanılan bu mimarilerin giriş boyutu [224,224,3] olarak ayarlanmıştır. Ayrıca, ağırlıkları ImageNet olarak başlatılmış ve eğitim sırasında korunmuştur. Önceden eğitilmiş mimarinin ve tam bağlantılı katmanın çıkışlarına eğitim

sırasında yaşanabilecek aşırı uyum problemini giderebilmek için %25 ayırma işlemi yapabilecek Dropout katmanları bırakılmıştır. Bu katmanın görevi eğitim sırasında bazı bağlantıları yok sayarak eğitilen mimarinin daha gürbüz cevap vermesini sağlamaktır. Ayrıca, ilk Dropout katmanından önce evrişimli sinir ağı çıkışının boyutunu tam bağlantılı katmana giriş olarak uygulayabilmek için $1 \times N$ boyutuna çevirebilecek düzleştirme katmanı kullanılmıştır. Tam bağlantılı katmanın görevi bir önceki katmanın bütün nöronları ile bağlantı kurarak çıkış üretmektedir. Yapılan bu çalışmada tam bağlantılı katmanda bulunan nöron sayısı 32 olarak belirlenmiştir ve aktivasyon fonksiyonu olarak doğrusallaştırılmış liner birim olan (Rectified Linear Unit - ReLU) seçilmiştir. ReLU, 0' dan küçük değerler için 0, diğer durumlarda ise değer kendisini üreten bir fonksiyondur. Yaptığı bu matematiksel işlemde dolayı türevi en kolay alınan aktivasyon fonksiyonu olup eğitim süresinin kısaltılabilmesi için bu fonksiyon seçilmiştir. Tam bağlantılı çıkış katmanı bir tam bağlantılı katman benzeri olup, nöron sayısı 4 ve aktivasyon fonksiyonu olarak Softmax seçilmiştir. Eğitim sırasında kayıp fonksiyonu olarak Denklem 1' de sunulan Kategorik Çapraz Kayıp Fonksiyonu seçilmiştir. Bu Denklem 1' de L kayıp fonksiyonunu, i veri sayısını, n çıkış boyutunu, y_i gerçek değeri, \hat{y}_i tahmin edilen değeri göstermektedir. Bu katmandaki nöron sayısı sınıf sayısını temsil etmekte olup, aktivasyon fonksiyonu da yine sınıflandırma problemine özgü seçilmiştir.

$$L = - \sum_{i=1}^n y_i \cdot \log \hat{y}_i \quad (1)$$

Yapılan bu çalışmada ilk olarak önceden eğitilmiş mimariler tekrardan eğitilmiştir. Bu eğitim sırasında test verilerine göre en iyi sonucu MobileNetV2 mimarisi üretmiştir. Bu sebepten dolayı önerilen yöntemde MobileNetV2 tabanlı bir mimari olan yapı Şekil 3' te görselleştirilmiştir.



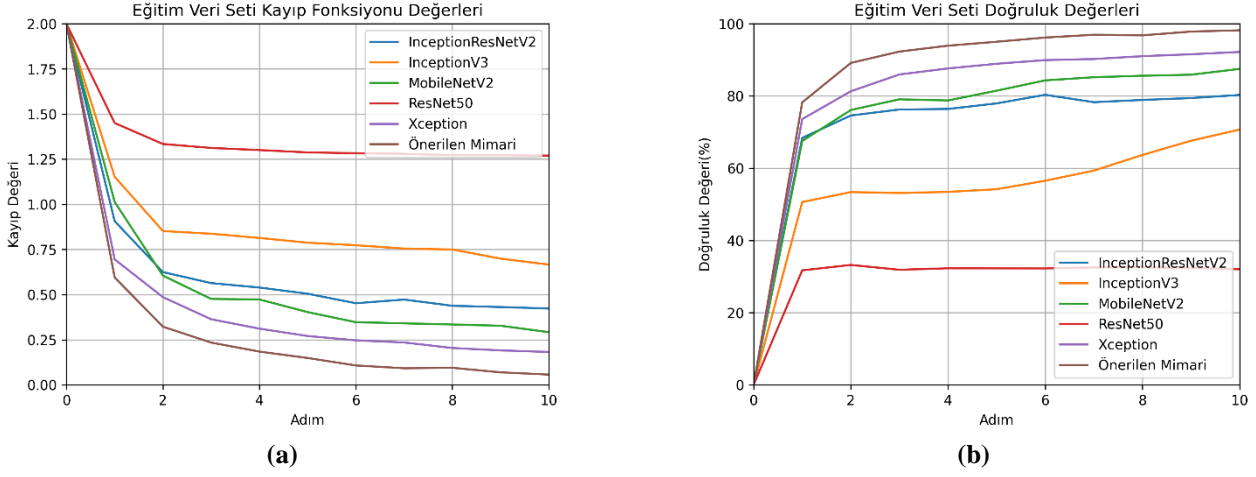
Şekil 3. Çalışmada önerilen mimari.

Şekil 3' te sunulan mimaride bulunan tam bağlantılı katman ve tam bağlantılı çıkış katmanının hiper-parametreleri Şekil 2' de sunulan mimari ile aynıdır. Önerilen mimarinin Şekil 2' de sunulan mimariden farkı ise ters evrişim katmanıdır. Ters evrişim işlemi, literatürde görüntü segmentasyon probleminde sıkça yararlanılan bir yöntem olup, bir görüntü üzerinde özelliklere bağlı olarak belirli eşikleme işlemi gerçekleştirilmesi için kullanılmaktadır. Yapılan bu çalışmada ise ters evrişim katmanının kullanılmasının iki temel amacı vardır. Bunlardan ilki, eğitilmiş mimari çıkışında elde edilen özelliklerin ayrıştırılmasıdır. Bu sayede mimari çıkışında elde edilen özellikler daha etkili olarak yorumlanabilecektir. İkincisi ise bir nevi darboğaz görevi verilerek, eğitim performansının artmasının yanı sıra eğitilecek parametre sayısını düşürüp eğitim süresini hızlandırmaktır. Bu sebepten dolayı ters evrişim katmanının filtre sayısı 32 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, kernel boyutu ve aktivasyon fonksiyonu sırası ile 3×3 ve ReLU olarak seçilmiştir. Eğitim performans parametreleri Denklem 2' de sunulan Doğruluk oranı formülü ile tespit edilmiştir.

$$\text{Doğruluk oranı} = \frac{\text{Doğru Tahmin Edilen Sınıf Sayısı}}{\text{Toplam Örnek Sayısı}} \quad (2)$$

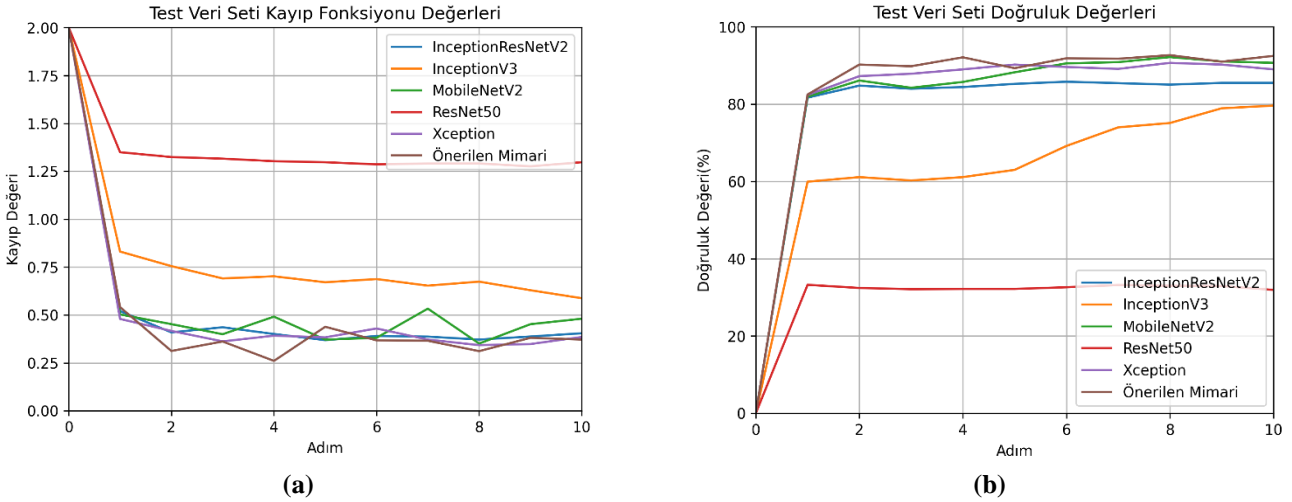
3. Bulgular

Yapılan bu çalışmada kullanılan tavuk hastalıkları veri setinde toplam 8067 görüntü dosyası vardır. Bu görüntü dosyalarının %70'i eğitim ve %30'u test için ayrılmıştır. Eğitim aşamasında önceden eğitilmiş mimarilerin ağırlıkları korunmuştur. Eğitim işlemi toplam 10 adımda gerçekleştirilmiştir. Yiğın boyutu (batch size) 32 olarak seçilmiştir. Ağ eğitim yöntemi ve kayıp fonksiyonu olarak sırası ile adaptif moment yaklaşımı algoritması ve kategorik çapraz entropi fonksiyonu kullanılmıştır. Ayrıca, öğrenme oranı 10^{-3} olarak seçilmiştir. Ayarlanan bu hiper parametreler ile mimarilerin eğitim performans grafikleri Şekil 4'te sunulmuştur.



Şekil 4. Eğitim veri setinin eğitim performans grafikleri, (a) Kayıp fonksiyonu değerleri, (b) Doğruluk değerleri.

Eğitim işlemi sırasında eğitim verilerine göre elde edilen kayıp fonksiyonu ve doğruluk değerleri grafikleri Şekil 4' te sunulmuştur. Sunulan bu grafiklerde bulunan doğruluk değerleri, sınıfı doğru tahmin edilen görüntü sayısının toplam görüntü sayısına oranını sembolize etmektedir. Bu gerçekleştirilen eğitim sırasında test veri setine ait kayıp fonksiyonu ve doğruluk değerleri grafikleri Şekil 5' te sunulmuştur.



Şekil 5. Test veri setinin performans grafikleri, (a) Kayıp fonksiyonu değerleri, (b) Doğruluk değerleri

Şekil 5-b' de sunulan test veri setinin 10. adım sonrası doğruluk değerleri Tablo 1' de verilmiştir.

Tablo 1. Mimarilerin parametre sayıları ve test veri setine göre doğruluk oranları.

| Mimari | Toplam Parametre Sayısı | Eğitilen Parametre Sayısı | Kesinlik | Duyarlılık | F1 Skoru | Doğruluk (%) |
|------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| ResNet50 | 26.8 M | 3.2 M | 0 | 0 | Nan | 32.7 |
| InceptionV3 | 23.4 M | 1.6 M | 0.857 | 0.750 | 0.800 | 80.6 |
| InceptionResNetV2 | 55.5 M | 1.2 M | 0.919 | 0.834 | 0.874 | 85.2 |
| Xception | 24.0 M | 3.2 M | 0.914 | 0.880 | 0.896 | 89.2 |
| MobileNetV2 | 4.3 M | 2.2 M | 0.938 | 0.846 | 0.889 | 90.7 |
| Önerilen Mimari | 2.7 M | 0.4 M | 0.927 | 0.918 | 0.923 | 92.1 |

Tablo 1' de çalışmada eğitilen mimarilerin toplam parametre sayıları, eğitilen parametre sayıları verilmiştir. Ayrıca, eğitim sonrası test veri setine göre elde edilen kesinlik, duyarlılık, F1 skoru ve yüzde doğruluk değerleri olarak verilmiştir. Yapılan bu çalışmada önceden eğitilmiş mimarilerin ağırlıkları korunduğundan dolayı toplam parametre ile eğitilen parametre sayısı farklıdır. Toplam parametre ile eğitilen parametre sayısının farkı önceden eğitilmiş mimarilerin parametre sayılarını vermektedir.

Eğitilen parametre sayısı ise Şekil 2 ve 3' te sunulan önceden eğitilmiş mimari sonrasında bulunan katmanlarda bulunan nöronları temsil etmektedir.

4. Sonuçlar ve Tartışma

Yapay zeka günümüzde mühendislikten sağlık alanına kadar her alanda sıklıkla kullanılmaktadır. Yapılan bu çalışmada tavuk hastalıklarının yapay zeka tabanlı tanı koyulup koyulamayacağı araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda ilk olarak veri seti elde edilmiştir. Elde edilen bu veri seti ön işlem olarak 224x224 boyutunda RGB formatında ayarlanmıştır. Daha sonra bu görüntüler rastsal olarak %70 ve %30 oranında eğitim ve test olarak ayrılmıştır. Eğitim veri seti olarak ayrılan görüntüler Şekil 2' de sunulan mimarinin eğitiminde kullanılmıştır. Bu eğitim sırasında önceden eğitilmiş mimari olarak sırası ile ResNet50, InceptionV3, InceptionResNetV2, Xception ve MobileNetV2 yapıları kullanılmıştır. Bu mimarilerin test veri seti kullanılarak doğruluk oranları sırası ile 32.7, 80.6, 85.2, 89.2 ve 90.7 olarak hesaplanmıştır. En iyi sonucu MobileNetV2 mimarisi kullanılarak elde edildiğinden dolayı önerilen mimari (bkz. Şekil 3) önceden eğitilmiş mimari olarak MobileNetV2 kullanılmıştır. Önerilen bu mimari yine aynı eğitim veri seti ile eğitilmiştir. Eğitilen bu mimarinin F1 skoru ve doğruluk oranı ise sırası ile 0.923 ve %92.1 olarak hesaplanmıştır. Bu değer diğer mimarilerle kıyaslandığında en iyi değerdir. Önerilen mimarinin önceki mimarilerden farkı ters evrişim katmanının kullanılmasıdır. Bu katman sayesinde Tablo 1' de görüldüğü üzere eğitilen parametre sayısı ve toplam parametre sayısı azalmıştır. Parametre sayısının azalması bu tür bir sistemin gömülü hale getirilmesini daha kolaylaştırmasının yanı sıra eğitim süresini de kısaltmıştır.

Gelecek çalışmamızda ilk olarak daha geniş bir veri seti hazırlanacaktır. Hazırlanan bu veri setindeki hastalık sayısı arttırılacaktır. Hazırlanacak veri seti ile bu çalışmada önerilen mimari denenecek ve daha yüksek doğruluk oranlarına çıkabilmesi için gelişmiş yapılar denenecektir.

Referanslar

- [1] U. Uslu and O. Ceylan, "Serbest Dolaşımli üretim Sisteminde Yetiştirilen hubbard isa red-ja broyler tavuklardaki Sekal Koksidiyozun Tedavisinde toltrazuril'in (COC-CIDE®) Etkinliğinin Değerlendirilmesi," Dicle Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, vol. 13, no. 2, pp. 135–138, 2020. doi:10.47027/duvetfd.816477.
- [2] A. Mimbay, "Newcastle hastalığının korunma ve kontrolü," Etlik Veteriner Mikrobiyoloji Dergisi ,vol. 5 no. 1-2-3, pp. 128-137.
- [3] H. Yardımcı, and A. Aksoy, "Tavuklarda Salmonella infeksiyonlarının kontrolü," Etlik Veteriner Mikrobiyoloji Dergisi , vol. 25, no. 2, pp. 63-72.
- [4] M. C. Bingol and O. Aydogmus, "Practical application of a safe human-robot interaction software," Industrial Robot: the international journal of robotics research and application, vol. 47, no. 3, pp. 359–368, 2020. doi:10.1108/ir-09-2019-0180.
- [5] B. Gürkan and A. Çifçi, "Eritematöz Skuamöz Hastalıkların Teşhisinde Makine Öğrenme Algoritmalarının Etkisi." Journal of Intelligent Systems: Theory and Applications vol. 4, no. 2, pp. 195-202, 2021.
- [6] B. Gürkan, "Makine öğrenmesi algoritmaları kullanarak erken dönemde diyabet hastalığı riskinin araştırılması." Journal of Intelligent Systems: Theory and Applications, vol. 4, no. 1, pp.55-64, 2021.
- [7] N. E. M. Khalifa, M. H. N. Taha, D. Ezzat Ali, A. Slowik and A. E. Hassanien, "Artificial Intelligence Technique for Gene Expression by Tumor RNA-Seq Data: A Novel Optimized Deep Learning Approach," IEEE Access, vol. 8, pp. 22874-22883, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2970210.
- [8] K. İsmail and A. Çifci. "An effective and fast solution for classification of wood species: A deep transfer learning approach." Ecological Informatics, vol. 69, pp. 195-202, 2022.
- [9] L. Zu, X. Chu, Q. Wang, Y. Ju and M. Zhang, "Joint Feature Target Detection Algorithm of Beak State Based on YOLOv5," IEEE Access, vol. 11, pp. 64458-64467, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3275432.
- [10] W. Zhu, Y. Peng and B. Ji, "An Automatic Dead Chicken Detection Algorithm Based on SVM in Modern Chicken Farm," 2009 Second International Symposium on Information Science and Engineering, Shanghai, China, 2009, pp. 323-326, doi: 10.1109/ISISE.2009.62.

- [11] M. A. A. A. Bakar, P. J. Ker, S. G. H. Tang, H. J. Lee and B. S. Zainal, "Classification of Unhealthy Chicken based on Chromaticity of the Comb," 2022 IEEE International Conference on Computing (ICOCO), Kota Kinabalu, Malaysia, 2022, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICOCO56118.2022.10031812.
- [12] Y. Guo et al., "Detecting broiler chickens on litter floor with the Yolov5-CBAM Deep Learning Model," *Artificial Intelligence in Agriculture*, vol. 9, pp. 36–45, 2023. doi:10.1016/j.aiia.2023.08.002.
- [13] B.-L. Chen et al., "Developing an automatic warning system for anomalous chicken dispersion and movement using Deep Learning and machine learning," *Poultry Science*, vol. 102, no. 12, p. 103040, 2023. doi:10.1016/j.psj.2023.103040.
- [14] M. C. Bingol and O. Aydogmus, "Development of a Human-Robot Interaction System for Industrial Applications," *Balkan Journal of Electrical and Computer Engineering (BAJECE)*, vol. 1, no. 1, pp. 1–10, 2023.
- [15] H. Afridi, M. Ullah, Ø. Nordbø, A. G. Larsgard and F. Alaya Cheikh, "Leveraging Transfer Learning for Analyzing Cattle Front Teat Placement," 2023 Twelfth International Conference on Image Processing Theory, Tools and Applications (IPTA), Paris, France, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/IPTA59101.2023.10320080.
- [16] R. N. Shebiah and S. Arivazhagan, "Deep Learning Based Image Analysis for Classification of Foot and Mouth Disease in Cattle," 2023 5th International Conference on Inventive Research in Computing Applications (ICIRCA), Coimbatore, India, 2023, pp. 701-705, doi: 10.1109/ICIRCA57980.2023.10220765.
- [17] W. Hao et al., "A novel jinnan individual cattle recognition approach based on mutual attention learning scheme," *Expert Systems with Applications*, vol. 230, p. 120551, 2023. doi:10.1016/j.eswa.2023.120551
- [18] Allandclive, "Chicken disease image classification," Kaggle, <https://www.kaggle.com/datasets/allandclive/chicken-disease-1> (accessed Nov. 24, 2023).
- [19] K. He, X. Zhang, S. Ren, and J. Sun, "Deep residual learning for image recognition," 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016. doi:10.1109/cvpr.2016.90.
- [20] C. Szegedy, V. Vanhoucke, S. Ioffe, J. Shlens, and Z. Wojna, "Rethinking the inception architecture for computer vision," 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016. doi:10.1109/cvpr.2016.308.
- [21] C. Szegedy, S. Ioffe, V. Vanhoucke, and A. Alemi, "Inception-V4, inception-resnet and the impact of residual connections on learning," *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, vol. 31, no. 1, 2017. doi:10.1609/aaai.v31i1.11231.
- [22] F. Chollet, "Xception: Deep learning with depthwise separable convolutions," 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2017. doi:10.1109/cvpr.2017.195.
- [23] M. Sandler, A. Howard, M. Zhu, A. Zhmoginov, and L.-C. Chen, "MobileNetV2: Inverted residuals and linear bottlenecks," 2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2018. doi:10.1109/cvpr.2018.00474.

Assessing the Roles of Raw Materials in Sustainable Development Goals: Current Situation and Future Prospects

Elifcan Göçmen Polat ^{a,1}

^a Munzur Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Tunceli, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-0316-281X

Abstract

Raw materials are the necessary building blocks for the functioning of the country's economy and industries. It is inevitable for countries to direct their economic policies towards sustainability within the scope of their green and digital transformation efforts. The fact that green and digital transformation are among the most driving forces in achieving sustainable development also reveals the criticality of the raw materials to be used in the technologies required for this transformation. The positive effects of raw materials come to the fore in many areas such as the use of carbon neutral and green technologies required for climate and energy targets, the design of sustainable cities, and healthy and quality life. However, it is necessary to discuss the dilemma created by the negative environmental effects of mining activities undertaken to extract the raw materials necessary to achieve sustainability goals. Therefore, in this study, the positive or negative effects of raw materials on the Sustainable Development Goals (SDGs), sustainable performance criteria that can be used in the evaluation of raw materials, are examined with strategic planning tools. Policies, measures, and investments regarding the performance measures achieved in Turkey are investigated. At the end of the study, the strengths, weaknesses, threats, and opportunities of some raw materials in terms of targets are evaluated. Additionally, through analysis of critical success factors, numerical inputs that can be used for researchers conducting data studies in this field are presented.

Keywords: “Raw materials, sustainable development goals, strategical planning.”

1. Introduction

Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri çerçevesi, sürdürülebilirlik ilkelerine dayanan gelecekteki küresel toplum için bir vizyon ortaya koymuştur. Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri, 17 Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi ve 169 alt hedeften oluşmaktadır. Ulusal ve yerel politikalar için ilkeler ve referans sağlayan sürdürülebilirliğin sosyal, ekonomik ve çevre boyutları sunulmaktadır. Hammaddeler sürdürülebilir kalkınmaya ulaşmak için müreffeh ekonomiler, bölgesel ve küresel istikrar, adil ve dayanıklı toplumlar gibi alt başlıklara da katkıda bulunurlar [1]. Hammaddeler, modern toplumlarda ekonomik büyüme ve refah için tüm toplumlarda gerekliliktir ve SKH' ye farklı şekillerde katkıda bulunurlar. Malzemelerin üretimi, özellikle gelişmekte olan ve yönetimi zayıf olan ülkelerde ciddi çevresel ve sosyal etkiler yaratabilir. Bununla birlikte, örneğin yüksek teknoloji uygulamalarda, ulaşım ve enerji altyapılarında, inşaat sektöründe, tıbbi cihazlarda vb. kullanımları, ekonomik kalkınma ve insan refahı açısından hayati rollerini ortaya koymaktadır. Hammaddelerin sürdürülebilirlik kapsamında olumlu ve olumsuz rolleri birçok durumda ortaya çıkmaktadır. Hammaddelerin üretimi sera gazı emisyonlarına neden olurken, yenilenebilir enerji teknolojilerinde kullanılması iklim değişikliğiyle mücadeleye katkı sağlamaktadır. Hammaddelerin çıkarılması ve imalatında da su kaynakları kirlenebilirken, bazı hammaddeler çevre teknolojileri ve su arıtma teknikleri için gereklidir. Hammadde sektörünün, dış ticaret ve istihdam rolüyle ekonomiye olumlu katkıları bulunurken, riskli çalışma koşulları sebebiyle olumsuz izlenim de bırakmaktadır. Bu çalışma, Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerinin 17 maddesine (Şekil 1) hammaddelerin tüm değer zinciri boyunca etkilerini irdelemektedir. Hammadde sektörünü, sadece jeolojik arama ve madencilik projesi olarak düşünmeden, ara ürün ve uç ürüne doğru giden bir süreç olarak değerlendirmek gerekmektedir. Jeolojik arama ve madencilik süreçleri, sürdürülebilir kalkınmada sudaki yaşam, karadaki yaşam, sağlık ve kaliteli yaşam gibi çevreyi ilgilendiren başlıkları kapsarken, ara ürün ve uç ürün oluşturma süreçleri sanayi, yenilikçilik, enerji gibi diğer başlıkları ilgilendirmektedir.

Literatürde, SKH kapsamında hedeflerin gerçekleştirilmesine dijital ikizlerin kaynak verimliliğinde artış, yeşil teknolojiler, ortaklıklar gibi boyutlarla [2], biyogazın yenilenebilir enerji, iklim eylemi, atık yönetimi ve istihdam konularındaki olumlu etkileriyle [3], yapay zekanın hedefleri gerçekleştirmede güçlü kurumlar gibi hedeflerde olumlu etkileriyle, şeffaflık ve etik konusundaki endişeleriyle [4], yenilenebilir enerji, doğal kaynaklar ve eğitim sektörüne yapılan yatırım politikalarıyla [5] katkıda bulunmaktadır. SKH çerçevesi, hammaddelere ilişkin açık bir SKH içermemektedir. Bununla birlikte, hammaddeler SKH' nin

¹ Corresponding Author

E-mail Address: elifcangocmen@munzur.edu.tr

gerçekleştirilmesi için hayati öneme sahiptir ve tüm SKH 'ye doğrudan veya dolaylı olarak katkıda bulunabilir. Hammadde sektörü, SKH' ler ile bağlantılı olup, bu hammaddelerin tüm değer zinciri (madencilik, işleme, metalurji, geri dönüşüm vb.) boyunca uygulanmasını etkilemektedir [6]. Literatürde, SKH ve hammaddeler bağlantısını içeren çalışmalarda, [7] hammaddelerin SKH' lere katkılarını veya engellerini, Avrupa Birliği politikaları ve eylemlerini ortaya koymaktadır. Raporlarında kullanılan metodoloji, literatür taraması sonuçlarının uzmanlara sorulması ve her bir hedef için göstergeler oluşturulması şeklindedir. Bununla birlikte, kobalt hammaddesinin SKH' ye ulaşılmasını destekleme durumunu değerlendirmektedirler [8]. Sonuçlar, iklim ve ekonomik büyüme için olumlu katkıları olarak elde edilirken, sağlıklı yaşam ve adalet hedeflerinde olumsuz sonuçlar oluşturmaktadır. Literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında, enerji, iklim ve ekonomi sektörlerinde hammaddelerin ele alınmaktadır. Bu başlıklar, dolaylı veya doğrudan sudaki ve karadaki yaşamı etkilediği için sürdürülebilir şehirler başlığını da kapsamaktadır. Her başlık için, hammadde sektörünü detaylı olarak ele alan ve gelecek projeksiyonu çizmek adına önerilerde bulunan çalışmalar kısıtlıdır. Özellikle, hammadde sektörünün küresel iklim politikaları konusundaki belirleyici rolü ile ilgili küresel iş birlikleri oluşturulması gerekmektedir. Amaçlar için ortaklıklar başlığı altında bu konuda çalışmaların yürütülmesi önemli olacaktır. Çalışmamızın katkısı, literatür çalışmalarına dayalı olarak hammaddelerin hedeflere katkısı ve hammaddeye ilişkin SKH göstergelerinin oluşturulmasının stratejik planlama araçlarıyla analizidir. Ayrıca, Türkiye'de bu kapsamda yapılan ilk çalışma olması itibarıyla da önemlidir. Çalışma, (spesifik, ölçülebilir, kabul edilebilir, gerçekçi, zamana bağlı) olarak belirtilen akıllı hedef kriterlerine [9] göre incelenmektedir. Çalışmanın amacı, hammaddelerin kalkınma hedeflerine etkilerinin güçlü ve zayıf yönlerini ile yaratacağı tehdit ve fırsatlarını; elde edilen sonuçların veri çalışmalarına yol göstermek adına performans ölçütlerini sunmaktır. Çalışmada sunulan performans ölçütleri, hammadde konusunda veri çalışmalarında ölçülebilir sayısal gösterge olarak kullanılabilir. Çalışma çıktılarının, ülkede yeşil ve dijital dönüşüm çabaları sürerken, konu itibarıyla kabul edilebilirliği yüksektir. Kullanılan veri kaynakları ve çıktıları gerçekçi olup, dinamik olan hammadde sektöründen dolayı zamanla güncellenebilmektedir.



Şekil 1. Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (Undp,2023)

2. Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri

1-Yoksulluğa Son

Dünyada birçok ülkede hammadde sektörünün büyümesi ve gelişmesi yoksulluktan kurtulmanın belirleyicisidir. Ülke ekonomisinin temelini oluşturan birçok sektörde girdi olarak kullanılması, dış ticaretteki payı, hammaddeyi ülkede yoksulluğun önemli parametresi olarak ortaya çıkarmaktadır. Hammadde sektörü, yerel ekonomiyi canlandırabilir, istihdam yaratabilir ve aynı zamanda nüfus gelirini ve ticareti artırabilir. Hammadde sektörlerinde katma değer ve istihdam, temel göstergeler olarak kabul edilebilir. Hammadde tedarigindeki kesinti, yine yoksulluğu artıracak gelişmelerin öncüsü olabilmektedir. Bu bağlamda, hammadde konusunda tedarik riskini önleme adına ülkelerin aldığı önlemler bulunmaktadır. Afrika-AB ortaklığı bağlamında maden kaynağı göstergeleri ve bunların Stratejik Koridorunun çizilmesindeki rollerinin ele alındığı çalışmada, Stratejik Koridorların, bölgesel ölçekte ekonomik ve toplumsal kalkınmayı artırmak için maden kaynaklarını bir katalizör olarak kullanması ifade edilmektedir. Sonuçlar, bu koridorların mevcut ve gelecekteki madenlere erişimi nasıl iyileştirebileceğinin anlaşılmasına ve AB için kritik hammadde tedarikinde kesinti riskini azaltabilmesine yardımcı olmaktadır [10].

2-Açılığa Son

Sürdürülebilir kalkınmada yoksulluk ve açlık çalışmaları çoğunlukla birlikte ele alınmaktadır ([11]; [12]). Açlığı ve yoksulluğu ortadan kaldırmaya yönelik çabalar, gıda üretimini de desteklemektedir. Bununla birlikte, madencilik sektöründe, su kütlelerinin ve tarım arazilerinin kirlenmesi gıda güvenliğini etkileyebilir. Bu durum özellikle geçimleri doğrudan doğal kaynaklara bağımlı olan yerel topluluklarda geçerlidir. Kadmiyum ve Selenyumun, karasal besin zinciri kirliliği açısından en büyük endişe kaynağı olduğu vurgulanmaktadır. Gübre, biyolojik katılar, toprak iyileştirmeleri ve atmosferik birikim yoluyla toprağa verilen kadmiyumun, çoğu zaman mahsullerdeki konsantrasyonları yavaş yavaş artmaktadır. Bu elementin alımı, insan beslenmesindeki dengeyi bozduğu belirtilmektedir [13].

3-Sağlık ve Kaliteli Yaşam

Tıbbi cihazlarda kullanılan bazı hammaddeler insan refahının iyileştirilmesi için vazgeçilmezdir. Bu, insanlara yönelik protez cihazlarda kullanılan tantal ve manyetik rezonans görüntüleme cihazlarındaki süper iletken manyetik bobinler için kullanılan niyobyum-titanyum alaşımları gibi bazı kritik metaller için geçerlidir. Sağlık sektöründe kalıcı implantlarda kullanılan titanyum, kobalt gibi hammaddeler, yenilikçi ürün ve süreçlerin geliştirilmesinde kullanılmaktadır. Olumsuz gösterge olarak, kobalt sülfat soluma kaynaklı kanser hastalığı artışı ve uranyum kaynaklı radyasyon maruziyeti gösterilebilir.

Mikro elementlerin kaynakları, topraktaki dönüşümleri, bitki ve insandaki fonksiyonları, eksik ve aşırı alımlarının bitki ve insanlar üzerindeki etkileri, bitki ve insandaki seviyelerini optimize etme yaklaşımları tartışılmaktadır. Çinko (Zn), demir (Fe), manganez (Mn), bakır (Cu), molibden (Mo), bor (B), klor (Cl) ve nikel (Ni) esansiyel ve silikon (Si) gibi elementlerin, insanlarda çeşitli fizyolojik işlevleri yerine getirdiği belirtilmektedir [14]. Stratejik hammaddelerin toplam ihracatının GSYH içerisindeki payının artmasının, yeni istihdam olanakları yaratılmasına, GSYH' nin artmasına ve dolayısıyla toplumsal refah seviyesinin gelişmesine ve yaşam koşullarının iyileşmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

4-Nitelikli Eğitim

Hammaddelerin tüm değer zinciri boyunca ele alınması ve bu fikirlerin gençlere aktarılması, 10 ila 18 yaş arası öğrencilere yönelik bazı öğrenme yolları önemlidir. Gençler arasında modern toplumda hammaddelere nasıl ihtiyaç duyulduğuna dair anlayışı artırmayı ve bu alanda kariyeri çekici hale getirmeyi amaçlamak, öğrencilerin bilime ve teknolojiye ilgisini geliştirmek için farklı eğitim yaklaşımlarının kullanıldığı öğrenme yolları geliştirmek gerektiği belirtilmektedir [15]. Eğitim ve araştırmada "kritik hammaddelerin" kullanımına ilişkin farkındalık" konulu bir ankette, ankete katılan araştırmacıların yarısının araştırma projeleri için kullanılan materyallerin gelecekte elde edilebilirliğini hesaba katmadığını ortaya çıkardı. Ankete katılan araştırmacıların %33 kadar azının kullanılan malzemenin kökenini bilmesi, araştırma projesinin başarısı ve gelecekteki bir pazara aktarılması durumunda gelecekteki tedarik riskinin tahminine ilişkin önemli bir gerçektir [16]. Gelişen teknolojilerin gerektirdiği beceriler, hızlı değiştiği için eğitim esas olarak hammaddelerle ilgili konulara odaklanırken, iletişim ve yönetim gibi yeni ortaya çıkan ve teknik olmayan becerilerde eksiklikler vardır. Bu makalede, halihazırda öğretilen becerileri ve yüksek öğretimin yapısını belirleyerek, hammadde eğitiminin gelecekteki analizi için bir bilgi tabanı oluşturmaktadır. Kapsamlı bir "beceri kataloğuna" yol açacak şekilde beceriler, bilgi ve öğretim alanlarının bir tanımı sunulmaktadır. Dünya çapındaki hammadde eğitimi envanterinin temelini oluşturur [17]. Hammaddelerle ilgili eğitim programı, konferans vb. sayısı temel göstergelerden olabilir. Yine, madencilikte çocuk işçi sayıları da olumsuz bir gösterge olarak ele alınabilir. Bu gösterge, nitelikli eğitimden yoksun çocuk sayısını artırdığı için, kalkınma anlamında negatif etkileri olacaktır.

5- Toplumsal Cinsiyet Eşitliği

Cinsiyet eşitliği konusu, hammadde bağlantılı çalışmalarda bulunamamaktadır. Bununla birlikte, toplumsal cinsiyet ayrımcılığının yarattığı sosyal, ekonomik ve politik eşitsizlikler, ekonomi, insana yakışır iş, eğitim, sağlık, karar alma hedeflerinin gerçekleştirilmesini sektöre uğratabilmektedir. Büyük ölçekli madencilikte kadın istihdamı düşüktür. Kadınların sektöre katılımını artırmaya yönelik birçok girişim ve program sayısı, temel gösterge olabilir.

6-Temiz Su ve Sanitasyon

Madencilik faaliyetleri, maden çıkarma, cevher işleme vb. sırasında kirleticilerin suya, toprağa ve havaya salınmasına katkıda bulunur. Bu kirleticiler ve tehlikeli maddeler su kalitesi üzerinde olumsuz etkileri olan maddelerdir. Atık yönetimi veya depolama tesislerinden kaynaklanan zehirli atıklar ve sızıntılar da yer altı suyu kaynaklarına nüfuz edebilir.

7-Erişilebilir ve Temiz Enerji

Türkiye'nin yenilenebilir enerji ve yeşil teknolojilere artan odaklanmasına bağlı olarak, bu malzemelere olan talep ve arz açığının katlanarak artması beklenmektedir. Bu geçişin zorluklarıyla başa çıkmak için bu malzemelere yönelik gelecekteki gereksinimleri karşılayacak politikalar belirlemelidir. Stratejik hammadde tedarikleri, büyük miktarda ham madde içeren yeşil teknolojilerle bağlantılı olarak risk altındadır. AB'nin Kritik Hammaddeler ile ilgili geliştirdiği strateji ve politikaların bir diğer önemli hedefi de net sıfır emisyon hedefi için gereken teknolojilerde (yenilenebilir enerji kaynakları, elektrik motorları, batarya)

kritik hammaddelere olan bağımlılıktır. Yeşil teknolojilere ve ürünlere yönelik artan talep nedeniyle kritik hammaddelere olan talebin artması beklenmektedir [18].

Enerji açısından daha verimli aydınlatma teknolojilerine yönelik eğilimlerin, son zamanlarda tedarik riski açısından bazı kritik hammaddelerin önemini arttırdığını, AB raporunda 5 kritik olarak tanımlanan ve aydınlatma uygulamalarında kullanılan altı hammaddenin ikame seçeneklerini değerlendirmeyi araştırmaktadır [19].

Sürdürülebilir bir dünyaya doğru ilerleme ihtiyacı, temiz enerji kaynaklarından yararlanılmasını gerektirdiğini ve bunlardan en önemli ikisinin rüzgâr ve güneş PV uygulamaları olduğu belirtilmektedir. Bu teknolojilerin, nadir toprak elementleri gibi sıklıkla kritik kabul edilen ve gelecekte sorunlara yol açabilecek bazı hammaddelerin kullanımını gerektirdiği için ikame teknolojinin ve malzemelerin kullanımı, malzeme yoğunluğunun iyileştirilmesi, geri dönüşüm gibi uygulamaların gerekliliği vurgulanmaktadır [20].

Lityum iyon piller olarak adlandırılan alternatif sistemlerin, dünyanın enerji altyapısında devrim yaratacağını ve bu teknolojilerin tedarik riski ve çevresel etki ölçümleri açısından incelemeleri yapılmaktadır. Ayrıca, maliyet ve performansın analizi gerçekleştirildikten sonra, kobalt ve lityumun tedarik risklerinin arttığı, nikelin yüksek çevresel etkiye sahip olduğu belirtilmektedir [21].

8-İnsana Yakınsır İş ve Ekonomik Büyüme

Yenilikçi teknolojilerin hızlı gelişimi, nüfus artışı, değişen kaynak yönetimi modelleri önümüzdeki yıllarda kritik hammaddelere olan talebi artırması beklenmektedir. Artan endişeler, ekonomik büyümede etkili kritik hammaddelerin önemini artırmaktadır [22]. Hammaddelere dayalı yeşil bir plan, lineer ekonomiden doğrusal ekonomiden yeşil döngüsel ekonomiye geçişi kolaylaştırmaktadır. Dolayısıyla, Türkiye'nin yeşile geçişi için stratejik malzeme temini sağlanmakta ve bu malzemelere olan talebin karşılanması sağlanmaktadır. Eksikliği önlemek için hammadde ikamesine yönelik yatırımlar araştırılmalıdır.

Literatürde, kritik hammaddelerin artan tedarik riski ve arz sıkıntısının ekonomiye etkilerini tartışmışlardır [23]. Tedarik riskinin etkilerinden kaçınmak için, sürdürülebilir madencilik, ikame endeksi ve kentsel madencilikte yenilikler olması gerektiği belirtilmektedir. Doğal grafit talebi yoğunlaşmasının ekonomik büyümeye etkileri incelenmiştir. Doğal grafit ihracat yoğunlaşması ile dünya ekonomilerindeki büyüme ilişkisi incelenip, dünyanın en büyük rezervlere sahip Türkiye'de bu maden için alınacak önlemler tartışılmaktadır [24].

9-Sanayi, Yenilikçilik ve Altyapı

Malzemenin dinamizmini dikkate alan, sürekli değişen, birçok parametre ve değişkeni içinde barındıran bu kadar karmaşık bir sistemde, analiz çalışmaları yapabilmek için makine öğrenmesi gibi ileri teknoloji uygulamalarının kullanılması önemlidir. Malzeme kritikliğinin değerlendirilmesi, çoğunlukla risk değerlendirme teorilerinin yapısını takip ederek tahminlere dayanmaktadır; ancak, büyük veri analitiği ile değer zincirinin tüm seviyelerindeki verilerin kombinasyonu, bölgesel ve ulusal ekonomiler için önemli pazar avantajları sağlamaktadır [25].

Sürdürülebilir kalkınma hedeflerini desteklemek için hammadde sektörünün dijitalleşmesi ve otomasyonu gerektiği, görüntüleme sensörü gibi önemli bir teknolojik yenilik olarak verilerin işlenmesine yönelik makine öğrenimindeki ilgili son gelişmelerin önemli olduğu değerlendirilmektedir. Yenilikçi işleme akışları ve ham madde çıkarma, sınıflandırma ve süreç otomasyonu gibi konular açıklanmaktadır [26].

AB ülkelerindeki maden kaynaklarının tedarikini güvence altına alma çabaları, yenilikçi teknolojilerin gelişmesiyle birlikte kritik hammaddelere olan talebin artmasıyla artmaktadır. Çalışma, Polonya'da kritik hammaddelerin elde edilmesinin hem birincil hem de ikincil kaynaklarla mümkün olabileceğini araştırmaktadır [27]. Kritik hammaddeler bilindiği üzere özellikle yüksek teknoloji ürünlerin üretiminde vazgeçilmez bileşenlerdir. Dünya nüfusunun hızla artması ve beraberinde teknolojik gelişmelerle birlikte yaşam standartlarının yükselmesi, yüksek teknoloji ürünlerde talep artışına neden olmakta ve dolayısıyla kritik hammaddelere olan talep hızla artmaktadır [28].

10-Eşitsizliklerin Azaltılması

Az gelişmiş ülkelerden yapılan hammadde ithalatına uygulanan tarife sınırlarının oranının optimal düzeye getirilmesi, maden sektörüne yönelik kritik hammadde metodolojilerinin daha şeffaf ve daha iyi hale getirilirse kritik hammaddelere katılım daha verimli olacaktır ve eşitsizliklerin azaltılması sağlanacaktır. Böylece jeopolitik gerilimler azaltılmış olacaktır [29]. Ayrıca, haksız ticaret uygulamalarıyla mücadelede daha etkili önlemler alınmalıdır. Ülkelerin kaynak rekabetine girmeleri iktisadi açıdan piyasalara yönelik giriş ve çıkış engellerine yol açabilmektedir.

İnsan hakları ihlalleri, çocuk işçiliği, güvencesiz ve tehlikeli çalışma koşulları, yasadışı ticaret, güç dengesizlikleri, yönetim ve kurumsal ortam, kaynak çatışmaları ve farklı kaynak kullanımları arasındaki rekabet konularında kritik hammadde değerlendirmeleri önem kazanmaktadır [30].

11-Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar

Hava kalitesine ve atık yönetimlerine özel önem göstererek, olumsuz çevresel etkilerinin azaltılması önemlidir. Hammaddelerin geri dönüştürülmesi esnasında havaya bıraktığı partiküller, içerisinde stratejik hammadde olan elektronik cihaz atıkları sayısı önemli göstergeler olabilir. Olumlu değerlendirilebilecek gösterge olarak elektrikli araç sayıları verilebilir. Lityum ve kobalt madenleri içeren elektrikli araçlar, daha az emisyon ile sunduğu hava kalitesiyle sürdürülebilir şehirlere katkıda bulunmaktadır.

Kritik hammaddeler ile Avrupa Birliği (AB) içindeki şehirler arasındaki ilişkiyi inceleyen araştırmada, kirlenici olarak kritik hammaddeler, geri dönüşümleri ve bunlara uygulanabilecek yeni teknolojiler kapsamında şehirlerin gelişmesinin ve yenilenmesinin giderek daha fazla kritik hammaddelere bağlı olacağını ifade etmektedir. Kentsel dönüşüm ve yenilenmeyle ilgilenen profesyonellerin kritik hammaddelerle ilgili giderek daha fazla konuyu yönetmek zorunda kalacağını da belirtmektedir [31].

12-Sorumlu Üretim ve Tüketim

Hammadde kapsamında oluşturulabilecek göstergeler, ulusal geri dönüşüm oranları, geri dönüştürülen hammadde miktarları, yurtiçi hammaddelerin üretim ve tüketim değerleri, ülkede sürdürülebilir tüketimde, üretimde ve çevre dostu teknolojilerde araştırma-geliştirme için destekler, teşviklerin sayısı olarak gösterilebilir.

Hammadde Temini Girişimi tarafından yürütülen kritik hammadde değerlendirmesine odaklanan araştırma çalışmasının sonuçları özetlenmektedir. Polonya'nın maden rezervi tabanının Avrupa Birliği için olası bir kritik hammadde kaynağı olma potansiyeli sunulmaktadır. Arz sınırlamasının ekonomik sonuçları, arzın azalma riski ve çevresel risk, niceliksel değerlendirme ile ele alınmaktadır [32].

13-İklim Eylemi

Yeşil teknolojilerin hızla gelişmesi çevrenin, insan sağlığının korunması ve döngüsel ekonominin inşası için büyük önem taşıması ve düşük karbon uygulamaları bağlamında stratejik hammaddelere bağımlılık arttıkça, ham maddelerin kapsamlı bir çerçeve kullanılarak değerlendirilmesi için yoğun çabalar sarf edilmelidir. Düşük karbon geçişleri için rüzgâr türbinleri, güneş panelleri, elektrikli araçlar stratejik öneme sahiptir ve bu düşük karbonlu ürünlerin içindeki stratejik hammaddeler sayesinde yeşil büyüme sağlanmaktadır. Bu nedenle bu malzemelerin kıtlığı, iklim değişikliğiyle mücadelede önemli olan yeşil geçişi etkilemektedir [33]. Stratejik hammaddelere dayalı olarak, yeşil kaynaklara olan güveni artırmak için kaynak mevcudiyeti ve sürdürülebilirlik esastır [34].

İklim değişikliğine ilişkin endişelerle, ulaşım sistemlerinin değişmesine yol açtığı için elektrikli araçlara yönelik lityum iyon akülerin kritik olan lityum, manganez ve kobalt kullanımını ve kritik hammaddelerin tedarik kesintisinin riskini azaltmak gerektiği vurgulanmaktadır [35].

14-Sudaki Yaşam

Kaynak verimliliği, döngüsel ekonomiye dönüşüm hedefleri kapsamında, detaylı bir eylem önerisi ve atık konusunda yasal düzenlemeleri içeren "Döngüsel Ekonomi Paketinden" bahsetmektedir [36]. Bu doğrultuda, ülkelerin atık ve kaynak yönetimi konusundaki tedbirleri tartışılmaktadır. Hammadde işleme ve çıkarma faaliyetlerden kaynaklanan su kirliliğinin önlenmesi, su atıklarının önemli ölçüde azaltılması, ülkelerin önlem alması gereken konulardandır.

Deniz suyu, hammadde çıkarımı için potansiyel bir kaynak olup, NaCl, en kritik mineral olmasına rağmen, Mg, Li, Sr, Rb ve B gibi diğer elementler (Cs, Co, In, Sc, Ga ve Ge) de deniz suyunda bulunmaktadır. Bunların çoğu Avrupa Birliği tarafından Kritik Hammadde olarak değerlendirilmektedir [37].

15-Karasal Yaşam

Hammaddelerin işlenme aşamalarında çevre kirlenmesi oluşması mümkündür. Böylelikle, biyoçeşitliliğin azalmasının büyük miktarlarda mevcut olduğu sanayi ülkelerinin üretim sektörlerine zorunluluklar dayatılmış ve bu durum da maliyetlerini büyük ölçüde etkilemiştir. Örneğin, uranyum çıkarılırken çok fazla arazi işlendiğinden dolayı ortaya çıkan atık miktarı fazladır ve karadaki yaşam için olumsuzdur [38]. Bununla birlikte, nükleer santrallerde uranyum yerine toryum kullanılırsa daha az atık oluşturmaktadır. Hammadde kapsamında oluşturulabilecek göstergeler, biyoçeşitliliğin sürdürülebilir kullanımı ve korunması konusunda kamu harcamaları, hammadde çıkarılması esnasında toplam bozulmuş arazi oranı olarak sunulabilir.

16-Barış, Adalet ve Güçlü Kurumlar

Her düzeyde etkin, hesap verebilirliği yüksek ve şeffaf kurumların olması bu hedef altında incelenebilir. Avrupa birliği hammadde listesi oluşturulduğunda eleştiriler, izlenen yöntemin şeffaflığı konusunda olmuştur. Dolayısıyla, ülkenin hammadde

stratejileri oluşturulurken veri, yöntem ve sonuçların ulusal güvenliği riske atmayacak şekilde şeffaf olarak paylaşılması gerekmektedir. Hammadde kapsamında oluşturulabilecek göstergeler, hammadde konusunda oluşturulan ülke içindeki topluluklar, kurumlar, raporların sayısı, İfade Özgürlükleri ve Şeffaflık, Siyasi Denge ve Şiddet Önleme, Hükümetin Etkin olması, Düzenlemede Kalite, Hukuk Üstünlüğü, Yolsuzlukla Mücadele gibi alt endekslerin toplamından oluşan Dünya yönetim endeksi olarak sunulabilir.

Nesiller arası adalet için, karbondan arındırmanın önemi vurgulanmaktadır. Tüm ülkelerde, stratejiler emisyonlarda net sıfır ilkesinde ilerlemektedir. Bu kapsamda atılacak tüm adımlar, kritik hammaddelerin tedarik risklerinde sıkıntıya sebep olmaktadır. Karbondan arındırma yolları ve teknolojilerini gerçekleştirmek için gereken malzemeleri adil ve sürdürülebilir bir şekilde güvence altına almak için gerekli yönetim taktikleri olması gerektiği ve bu konuda boşluklar olduğu vurgulanmaktadır [39].

17-Amaçlar İçin Ortaklıklar

Hammadde konusu, üretici ve tüketici devletlerin iş birliği yaptığı veya karşı karşıya geldiği bir oyun teorisi yaklaşımında çözülebilir. Üretici ülkeler, hammaddeleri üzerinde güç stratejileri uygulamaktadır. Tüketici ülkeler ise, atıklardan geri dönüşüm ve verimli kaynak kullanımı ile etkileme stratejileri uygulamaktadır. Dolayısıyla, ülkeler arasında hammadde iş birliği politikaları oluşturmalıdır. Hammadde kapsamında oluşturulabilecek göstergeler, hammadde üretiminin yoğun olduğu ülkelerle iş birliği anlaşmaları ve programlarının sayısı, hammadde politikaları oluşturmada kamu, özel ve sivil toplum iş birliklerinin özendirilmesi ve destek sunulması olarak belirtilebilir. AB, aynı amaçlar için ortaklık kapsamında küresel tedarik zincirlerini geliştirmek isteyen ülkelerle Kritik Hammaddeler Kulübü kurulması konusunda faaliyetlerde bulunmaktadır.

3. Stratejik Planlama

Hammaddelerin sürdürülebilir kalkınma hedeflerinde incelenmesinde, sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için gerekli teknolojilerde kullanılan hammaddelerin önemi ve çıkarılmasında girilen madencilik faaliyetlerinin olumsuz çevresel etkilerinin yarattığı ikilemi tartışmak gerekmektedir. Bu ikilemi analiz etmek adına kullanılan en etkili analiz yöntemlerinden biri SWOT analizidir. SWOT analizi, optimal bir strateji belirleyebilmek adına kullanılan en temel adımlardan biridir. SWOT, güçlü yönler, zayıf yönler, fırsatlar ve tehditler anlamına gelen kısaltmadır. Planlamada dikkate alınacak temel bilgilerin analiz edildiği aşama olan SWOT analizi, Tablo 1'de sunulmaktadır.

Tablo 1. SWOT Analizi

| Güçlü Yönler | Zayıf Yönler |
|---|--|
| Lityum ve kobalt madenleri içeren elektrikli araçların, daha az emisyon ile sunduğu hava kalitesi Kritik hammaddelerin, özellikle yüksek teknoloji ürünlerin üretiminde vazgeçilmez bileşenler olması Kritik hammaddelerin temiz enerji ve enerji bağımsızlığındaki önemi Kritik hammaddelerin yeşil ve dijital ekonominin yapı taşlarını oluşturması Kritik hammaddelerin sağlık sektöründe yenilikçi ürün ve üretim süreçlerinde kullanılması | Hammaddelerin üretiminde sera gazı emisyonları Kobalt sülfat soluma kaynaklı kanser hastalığı artışı Uranyum kaynaklı radyasyon maruziyeti Madencilikte çocuk işçi sayıları Hammaddelerin geri dönüştürülmesi esnasında havaya bıraktığı partiküller |
| Tehditler | Fırsatlar |
| Hammadde sektöründe kaynak milliyetçiliği Yeşil teknolojilere olan talep fazlalığının hammadde arz açığını arttırması Hammadde çıkarma projelerinin, çıkarılacak bölgede doğayı tehdit etmesi yönünde oluşan görüşler | Hammadde sektörünün, yerel ekonomi, istihdam konusundaki katkıları Hammaddelerin yeşil teknolojilerin hızla gelişmesi ve döngüsel ekonominin inşasındaki rolü Küresel tedarik için Kritik Hammaddeler Kulübü, Stratejik Ortaklıklar Hammaddelerin ihracatının ekonomik büyümedeki rolü Tedarik zincirlerinin politik çatışma riskinin az olduğu ülkelere taşınması Kaynak verimliliği için inovasyonun desteklenmesi Doğal kaynak yeterliliği arayışının ülkelerin jeopolitik faaliyetlerini artırması |

TOWS analiziyle, SWOT analizindeki kriterlerin güçlendirilmiş versiyonu olarak sonuçları analiz eden bir stratejik planlama aracıdır. TOWS analizi ile, güçlü özelliklerle fırsatları, zayıf özelliklerle tehditleri eşleştirerek, geleceğe yönelik stratejiler belirlenmektedir. Hammaddelerin sürdürülebilir kalkınma hedeflerinde incelenmesinde, hammaddelerin güçlü yönlerinin fırsatlara dönüştürülmesi noktasındaki stratejiler, güçlü yönlerin tehditleri önlemek adına kullanılması, zayıf yönlerin fırsatlara çevirebilme adına yapılması gerekenler ve zayıf yönlerin tehdit olarak dönüşmesinde uygulanması gereken önlemler tartışılmaktadır. Tablo 2’de TOWS analiziyle SWOT analizi sonuçları değerlendirilmektedir.

Tablo 2. TOWS analizi

| | Fırsatlar | Tehditler |
|--------------|---|--|
| Güçlü Yönler | Batarya hücre teknolojilerinde kullanılan hammaddelerin sürdürülebilir akıllı ulaşımı desteklemesine yönelik iş birlikleri | Hammaddelerin ikincil üretiminde hurda ayıklama yöntemlerinin döngüsel ekonomiye destek sağlayacak biçimde geliştirilmesi |
| Zayıf Yönler | Bor üretirken ortaya çıkan kil ve atıklardan, bataryada kullanılan lityum bileşikler geliştirilmeye yönelik projeler | Karbon siyahının insana ve çevreye verdiği zararların tehdit oluşturmasını önlemek adına çevre dostu yöntemlerin geliştirilmesi |
| | Bazı kritik hammaddelerin salt madencilik projesi olarak değerlendirilip cevher olarak satılmasının düşük ekonomik değerinin, ara ürün veya uç ürüne dönüştürülmesiyle değerlendirilmesine yönelik değer zincirleri oluşturulması | İklim hedeflerini yakalamak için girişilen madencilik faaliyetlerinin olumsuz çevresel etkilerini yenilikçi teknolojiler ve geri dönüşüm ile önlenmesi |

Stratejik planlama sürecinde önemli olan kritik başarı faktörlerinin dört temel kaynağı, sektörün yapısı, rekabet stratejisi, endüstrideki konum, çevre faktörleri, zaman olarak tanımlanmaktadır [40]. Tablo 3’te hammaddelerin SKH kapsamında rekabet oluşturabilecek, çevre, zaman, konum bağlantılı başarı faktörleri ve ölçütleri tanıtılmaktadır.

Tablo 3. Hammaddelerin, SKH kapsamında kritik başarı faktörleri ve performans ölçütleri

| Kritik Başarı Faktörleri | Performans Ölçütleri |
|-----------------------------|--|
| Yoksulluğun sonlandırılması | Hammadde dış ticaret hacminin milli gelire oranı |
| Açlığın sonlandırılması | Hammaddeden zengin toprak kalitesi istatistikleri |
| Sağlıklı ve kaliteli yaşam | Hammadde kaynaklı zararlı kimyasallardan kaynaklanan hastalıkların ve ölümlerin sayısı |
| Nitelikli eğitim | Hammadde eğitimi envanteri |
| Cinsiyet eşitliği | Sektörde çalışan kadın/erkek sayıları |
| Temiz su | Su verimliliği, atık su arıtımı, geri dönüşüm ve tekrar kullanım teknolojilerinde kullanılan hammadde oranı |
| Temiz enerji | Hammaddelerin enerji sektöründe kullanım payı Yenilenebilir enerji istatistikleri Temiz enerji dönüşümünde hammadde talep analizleri Temiz enerji teknoloji hammaddelerinin toplam talep içindeki payları |
| Ekonomik büyüme | İthalat bağımlılığı oranı Hammaddelerin imalat sektörlerinde kullanım payı ve katma değeri Pazar yoğunlaşması değeri |
| Eşitlik | Küresel hammadde piyasalarının ve kurumlarının düzenlenmesi ve denetlenmesinin geliştirilmesi projeleri |
| Sürdürülebilir şehirler | Sürdürülebilir kentleşme için hava kalitesini iyileştiren elektrikli araç sayıları İkame endeksi |
| İklim dengesi | Hammaddelerin kullanım ömrü sonu geri dönüşüm girdi oranı Hammadde sektörüyle ilgili iklim politikaları sayısı |
| Sudaki yaşamı koruma | Deniz ve kıyı ekosistemleri iyileştirme teknolojilerinde kullanılan hammadde |
| Karasal yaşamı koruma | Hammadde çıkarma faaliyetlerinde tahrip olan ve düzeltilen arazi çalışmaları sayısı |
| Adaletin sağlanması | Küresel hammadde ticareti için ayrımcılık gözetmeyen yasa ve politikaların sayısı |
| Stratejik ortaklıklar | Çok paydaşlı ortaklıklarının sayısı |

4. Türkiye’de SKH ve hammaddeler

SKH yoksulluğun ve açlığın sonlandırılmasında ülke gelirinin öneminden ve dış ticaret hacminin öneminden bahsedilmektedir. Türkiye’nin maden dış ticareti ele alındığında, madenlerin ihracat değerinin geçen yıllara göre arttığı gözlemlenmiştir. İhracat gelir artışı ve istihdam üzerinde önemli rol oynadığı için, yoksulluk ve açlık parametreleri üzerinde

etkileri mevcuttur. Türkiye’de madencilikte geçen yıllara göre ihracat artışı olduğu için SKH’nin iki hedefi için pozitif etkileri olacağı düşünülmektedir. Türkiye'nin ilk bor karbür tesisi Balıkesir’in Bandırma ilçesinde 2023 yılında açılmış olup, yaratacağı istihdam olanakları ile yoksulluğun azaltılması hedefine katkı sağlayacaktır. Bor karbür, ayrıca sağlıklı ve kaliteli yaşam hedefine de kanser tedavisinde kullanılması sebebiyle katkı sağlamaktadır [41]. Temiz enerji hedefleri için, elektrikli araçların ülkedeki artışıyla, enerji depolama sistemleri için en önemli hammadde olan lityum iyon pil üretimi için Aspilsan Enerji ve Eti Maden’in bor atığından lityum elde etme projesi faaliyete geçmiştir [42]. Türkiye, 2053 Karbon nötr olma hedefine yönelik güneş, rüzgâr enerjisi, biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmektedir. Bu kaynakların teknolojileri için gerekli hammaddelerin yerli kaynaklardan karşılanması çok önemlidir. Bu enerji kaynaklarını desteklemek amacıyla birçok teşvik ve destek mekanizmaları sunulmaktadır [43]. Türkiye, MTA aracılığıyla Japonya, Bulgaristan, Kanada, Fransa, Norveç ülkeleriyle ortak projeler yürütmektedir [44]. Amaçlar için ortaklıklar hedefinde, ülkenin maden arama veya işleme aşamalarında daha fazla iş birliği yürütmesi gerekecektir. Türkiye, küresel hammadde sektöründe, kritik hammaddelerin tedarik zincirinde uygulayacağı yatırım ve politikalarla stratejik rol üstlenebilecektir.

5. Bulgular

Bu bölümde, incelenen çalışmalarda SKH kapsamında hammadde ve hedef bağlantılarına dair bulgular incelenmektedir. Buna göre, Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri ile hammaddelerin bağlantısının incelendiği çalışmada, 9 (Sanayi, Yenilik ve Altyapı), 8 (İnsana Yakışır İş ve Ekonomik Büyüme) ve 7 (Erişilebilir ve Temiz Enerji) ile güçlü bir bağlantısının olduğu elde edilmektedir. En az bağlantılı olan hedefler, toplumsal cinsiyet eşitliği ve eğitim konularında olmaktadır. Cinsiyet eşitliği, sadece madencilik sektöründe çalışan kadın erkek sayıları dengesi temelinde ele alınırken, eğitim konusunda, hammadde sektöründe nitelikli eğitimin faydalarından bahsedilmektedir. Çalışmamıza benzer bir başka çalışmada, benzer sonuçlar elde edilmektedir [45]. Bu çalışmada, Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri 9 (Sanayi, Yenilik ve Altyapı), 8 (İnsana Yakışır İş ve Ekonomik Büyüme) ve 7 (Erişilebilir ve Temiz Enerji), çalışmaya katılan paydaşlar tarafından en yüksek puanları almaktadır ve hammadde sektörü ile bu alt başlıklar arasında güçlü bir bağlantı olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, hammadde sektörü için bir diğer raporda, Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri 9 (Sanayi, Yenilik ve Altyapı), 8 (İnsana Yakışır İş ve Ekonomik Büyüme) ve 7 (Erişilebilir ve Temiz Enerji), 6 (Temiz Su ve Sanitasyon), 13 (İklim Eylemi) ve 15 (Karasal Yaşam) ile ilişki gözlenmektedir [46]. Bu sonuçların, günümüzde yeşil ve dijital dönüşüm kapsamında yürütülen çalışmaların artmasıyla bağlantılı olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, hammadde konusu itibarıyla, yenilik, ekonomik büyüme ve enerji alanlarına en fazla girdi oluşturabilecek durumdadır. Çalışmada SWOT analizinden elde edilen bulgular, hammadde konusunun fırsatlar bağlamında önemli girdiler sunduğunu göstermektedir. Hammaddelerin, yeşil ve dijital dönüşüm kapsamındaki itici gücünün ülke adına fırsatlara dönüştürülmesi için efor sarf edilmelidir. Böylelikle, zayıf yönler veya tehditler olarak görünen negatif etkilerin tersine döndürülmesi kaçınılmaz olacaktır. Kritik başarı faktörleri analizi sonucunda, her bir hedef başlığı altında oluşturulan performans ölçütleri ileride yapılacak veri analizi çalışmaları için de önemli sonuçlar içermektedir. Ülkelerin, hammadde politikaları oluştururken yürüteceği çalışmalarda değerlendirebileceği kantitatif sonuçlar sunacak ölçütler sunulmaktadır.

6. Sonuç ve Tartışma

Sürdürülebilir kalkınmanın sağlanmasında, ekonomik büyüme adına yapılan ödünleşimlerle, sosyal yaşam ve çevresel duyarlılık gibi konular göz ardı edilmektedir. Sürdürülebilir kalkınmanın çevre, sosyal ve ekonomik gibi çok sayıda başlıkları ve alt başlıkları olması ve bu başlıkların belirli sektörlerle entegrasyon ihtiyacı oluşturması, bu alanda yapılan çalışmaları zorlaştırmaktadır. Dolayısıyla, sürdürülebilir kalkınmada birbiriyle bağlantılı hedeflerin kesişimini, bu hedeflerin eş zamanlı ilerlemelerini ve kazan-kazan yaklaşımını araştırmak doğru strateji olacaktır. Ekonomik büyüme hedefi ve temiz teknoloji hedefini ayrı ayrı ele almak yerine yeşil ekonomi veya döngüsel ekonomi olarak tanımlanan başlık altında yürütmek, sürdürülebilirlik çalışmalarına yardımcı olabilmektedir. Çalışmanın sonuç kısmında, çalışmadan elde edilen bulguların tartışılması ve ileride yapılacak çalışmalara öneriler sunulmaktadır.

- Tedarik zincirindeki çeşitlendirmeye ilaveten, kritik hammadde tedarik zincirlerinin çevresel, sosyal ve yönetim özellikleri bağlamında ele alınması gerekmektedir. Hammadde konusunun, çevre kirliliğine, doğa tahribatına, karbon emisyonu veya insan hakları ve iş ihlallerine sebep olmamak üzere yürütülmelidir.
- Hammaddelerin, SKH çerçevesindeki katkılarını oluştururken, yetersiz finansal ve insan kaynakları, küresel senaryolardan haberdar olmama gibi engellerin aşılması adına kamu ve özel sektör iş birliği sağlanmalıdır. Sürdürülebilir kalkınma ve hammadde birliğinde ilerleme kaydedilebilmesi adına devlet kurumları ve sektör uzmanları tarafından üstlenilen çalışmaların koordinasyonuna ihtiyaç bulunmaktadır.
- Sürdürülebilirlik için hammadde tedarik süreçlerinin yönetilmesine yönelik düşük ve yüksek gelirli ülkeler arasında stratejik ortaklık yaklaşımı gerekmektedir.

- Lityum metal, lityum sülfür gibi enerji yoğunluğu yüksek batarya teknolojilerinin sürdürülebilir ulaşım için kullanımı teşvik edilmelidir.
- SKH kapsamında hammaddelerle en az bağlantılı olan hedefler olan toplumsal cinsiyet eşitliği ve eğitim konularında göstergeler elde etmek adına çalışmalar yapılabilir. Özellikle, uzun yıllardır çevresel endişeler ve hammadde sektörü ilişkilendirildiği için çevre inisiyatifleri tarafından tepki çeken madencilik sektörünün yenilenebilir enerji sektörüyle olan olumlu etkileri konusunda eğitimler düzenlenebilir. Sürdürülebilir madencilik ve kadın girişimciler konusu, günümüzde birçok programda ele alınmaktadır. Bu konuda, ülkemizde düzenlenen çalıştay, kongre, vb. organizasyonlarda konunun ele alınması toplumsal cinsiyet eşitliği başlığı için olumlu katkılar sunacaktır.
- Simülasyon tabanlı karar destek sistemleri, sistem performansı ve kaynak verimliliğini iyileştirmektedir [47]. Geliştirilecek karar destek sistemiyle, hammadde taleplerindeki değişimlerin etkileri gözlenebilecektir. Böylelikle, hammadde politika senaryoları geliştirilecektir.
- Son olarak, hammaddelerin SKH' leri ne ölçüde etkileyeceği eğitim, bilimsel ve teknolojik gelişmelere yapılan yatırımlar, sonuç odaklı ve hesap verebilir bir sistemle mümkün olacaktır.

Teşekkür

Çalışma, "Stratejik Hammaddeler ve İleri Teknoloji Uygulamaları İhtisas Üniversitesi" olan Munzur Üniversitesi'nde yürütülen ihtisaslaşma projesi çerçevesinde tamamlanmıştır. Stratejik Hammaddeler ve İleri Teknoloji Uygulamaları İhtisaslaşma Koordinatörlüğüne destekleri için teşekkür ederiz.

Referanslar

- [1] Michal, C., & Zuzana, Š. (2021). Critical raw materials as a part of sustainable development. *Multidisziplinárís Tudományok*, 11(5), 12-23.
- [2] Tzachor, A., Sabri, S., Richards, C. E., Rajabifard, A., & Acuto, M. (2022). Potential and limitations of digital twins to achieve the sustainable development goals. *Nature Sustainability*, 5(10), 822-829.
- [3] Obaideen, K., Abdelkareem, M. A., Wilberforce, T., Elsaid, K., Sayed, E. T., Maghrabie, H. M., & Olabi, A. G. (2022). Biogas role in achievement of the sustainable development goals: Evaluation, Challenges, and Guidelines. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 131, 104207.
- [4] Vinuesa, R., Azizpour, H., Leite, I., Balaam, M., Dignum, V., Domisch, S., ... & Fuso Nerini, F. (2020). The role of artificial intelligence in achieving the Sustainable Development Goals. *Nature communications*, 11(1), 1-10.
- [5] Mehmood, U. (2021). Contribution of renewable energy towards environmental quality: The role of education to achieve sustainable development goals in G11 countries. *Renewable Energy*, 178, 600-607.
- [6] Tomazinakis, S., Valakas, G., Gaki, A., Damigos, D., & Adam, K. (2021). The Significance of SDGs for the Raw Materials Sector: A Stakeholders' Approach in Three ESEE Countries. *Materials Proceedings*, 5(1), 48.
- [7] Mancini, L., Vidal Legaz, B., Vizzarri, M., Wittmer, D., Grassi, G., & Pennington, D. (2019). Mapping the role of raw materials in sustainable development goals. A Preliminary Analysis of Links, Monitoring Indicators, and Related Policy Initiatives, 3, 1-9.
- [8] da Silva Lima, L., Cocquyt, L., Mancini, L., Cadena, E., & Dewulf, J. (2023). The role of raw materials to achieve the Sustainable Development Goals: Tracing the risks and positive contributions of cobalt along the lithium-ion battery supply chain. *Journal of Industrial Ecology*, 27(3), 777-794.
- [9] Maxwell, S. L., Milner-Gulland, E. J., Jones, J. P., Knight, A. T., Bunnefeld, N., Nuno, A., ... & Rhodes, J. R. (2015). Being smart about SMART environmental targets. *Science*, 347(6226), 1075-1076.
- [10] Baranzelli, C., Blengini, G. A., Josa, S. O., & Lavallo, C. (2022). EU–Africa Strategic Corridors and critical raw materials: two-way approach to regional development and security of supply. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 36(9), 607-623.
- [11] Wongnaa, C. A., & Awunyo-Vitor, D. (2018). Achieving sustainable development goals on no poverty and zero hunger: Does technical efficiency of Ghana's maize farmers matter? *Agriculture & Food Security*, 7(1), 1-13.

- [12] Khanal, U., Wilson, C., Rahman, S., Lee, B. L., & Hoang, V. N. (2021). Smallholder farmers' adaptation to climate change and its potential contribution to UN's sustainable development goals of zero hunger and no poverty. *Journal of Cleaner Production*, 281, 124999.
- [13] McLaughlin, M. J., Parker, D. R., & Clarke, J. M. (1999). Metals and micronutrients—food safety issues. *Field crops research*, 60(1-2), 143-163.
- [14] Nieder, R., Benbi, D. K., Reichl, F. X., Nieder, R., Benbi, D. K., & Reichl, F. X. (2018). Microelements and their role in human health. *Soil components and human health*, 317-374.
- [15] Torreggiani, A., Zanelli, A., Degli Esposti, A., Polo, E., Dambruoso, P., Lapinska-Viola, R., ... & Benvenuti, E. (2021). How to prepare future generations for the challenges in the raw materials sector. In *Rare Metal Technology 2021* (pp. 277-287). Springer International Publishing.
- [16] Hofmann, M., Hofmann, H., Hagelüken, C., & Hool, A. (2018). Critical raw materials: A perspective from the materials science community. *Sustainable Materials and Technologies*, 17, e00074.
- [17] Hartlieb, P., Jorda Bordehore, L., Regueiro y González-Barros, M., Correia, V., & Vidovic, J. (2020). A comprehensive skills catalogue for the raw materials sector and the structure of raw materials education worldwide. *Mining Technology*, 129(2), 82-94.
- [18] Rietveld, E., Bastein, T., van Leeuwen, T., Wieclawska, S., Bonenkamp, N., Peck, D., ... & Poitiers, N. (2022). Strengthening the security of supply of products containing Critical Raw Materials for the green transition and decarbonisation. European Parliament.
- [19] Pavel, C. C., Marmier, A., Tzimas, E., Schleicher, T., Schüler, D., Buchert, M., & Blagoeva, D. (2016). Critical raw materials in lighting applications: Substitution opportunities and implication on their demand. *physica status solidi (a)*, 213(11), 2937-2946.
- [20] Gotti, F. (2022). Critical raw materials for wind and solar PV energy applications: state of the art, future opportunities and critical issues.
- [21] Wentker, M., Greenwood, M., Asaba, M. C., & Leker, J. (2019). A raw material criticality and environmental impact assessment of state-of-the-art and post-lithium-ion cathode technologies. *Journal of Energy Storage*, 26, 101022.
- [22] Polat, E. G., Yücesan, M., & Gül, M. (2023). A comparative framework for criticality assessment of strategic raw materials in Turkey. *Resources Policy*, 82, 103511.
- [23] Hennebel, T., Boon, N., Maes, S., & Lenz, M. (2015). Biotechnologies for critical raw material recovery from primary and secondary sources: R&D priorities and future perspectives. *New biotechnology*, 32(1), 121-127.
- [24] Konuk, A., Gürsoy, Y. H., & Hakan, A. K. (2021). Doğal grafit ihracatı yoğunlaşmasının ekonomik büyüme üzerindeki etkisi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29(3), 316-327.
- [25] Hofmann, M., Hofmann, H., Hagelüken, C., & Hool, A. (2018). Critical raw materials: A perspective from the materials science community. *Sustainable Materials and Technologies*, 17, e00074.
- [26] Ghamisi, P., Shahi, K. R., Duan, P., Rasti, B., Lorenz, S., Booyesen, R., ... & Gloaguen, R. (2021). The potential of machine learning for a more responsible sourcing of critical raw materials. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 14, 8971-8988.
- [27] Jarosiński, A., Żelazny, S., & Cholewa, M. (2016). Raw Materials and Possibilities of their obtaining in Poland. *Inżynieria Mineralna*, 17(1), 233-240.
- [28] Michal, C., & Zuzana, Š. (2021). Critical raw materials as a part of sustainable development. *Multidisciplinárís Tudományok*, 11(5), 12-23.
- [29] Zhang, S. E., Bourdeau, J. E., Nwaila, G. T., & Ghorbani, Y. (2023). Emerging criticality: Unraveling shifting dynamics of the EU's critical raw materials and their implications on Canada and South Africa. *Resources Policy*, 86, 104247.
- [30] Mancini, L., & Sala, S. (2018). Social impact assessment in the mining sector: Review and comparison of indicators frameworks. *Resources Policy*, 57, 98-111.

- [31] Foresta, D. L., & Cerasuolo, A. (2021). Critical raw materials and cities: A literature review. *Journal of Urban Regeneration & Renewal*, 15(1), 71-82.
- [32] Radwanek-Bąk, B. (2011). Mineral resources of Poland in the aspect of the assessment of critical minerals to the European Union Economy. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, (1).
- [33] Pommeret, A., Ricci, F., & Schubert, K. (2022). Critical raw materials for the energy transition. *European Economic Review*, 141, 103991.
- [34] Domaracka, L., Matuskova, S., Tausova, M., Senova, A., & Kowal, B. (2022). Efficient Use of Critical Raw Materials for Optimal Resource Management in EU Countries. *Sustainability*, 14(11), 6554.
- [35] Ziemann, S., Grunwald, A., Schebek, L., Müller, D. B., & Weil, M. (2013). The future of mobility and its critical raw materials. *Metallurgical Research & Technology*, 110(1), 47-54.
- [36] Veral, E. S. (2018). Döngüsel ekonomiye geçiş doğrultusunda yeni tedbirler ve AB üye ülkelerinin stratejileri. *Ankara Avrupa Çalışmaları Dergisi*, 17(2), 463-488.
- [37] Vicari, F., Randazzo, S., López, J., de Labastida, M. F., Vallès, V., Micale, G., ... & Cipollina, A. (2022). Mining minerals and critical raw materials from bittern: Understanding metal ions fate in saltwork ponds. *Science of The Total Environment*, 847, 157544.
- [38] Temurçin, K., & Aliğaoğlu, A. (2003). Nükleer Enerji Ve Tartışmalar Işığında Türkiye’de Nükleer Enerji Gerçeği. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 1(2), 25-39.
- [39] DeWit, A. (2023). Decarbonization and Critical Raw Materials. In *Governance for a Sustainable Future: The State of the Art in Japan* (pp. 279-298). Singapore: Springer Nature Singapore.
- [40] Rockart, J. F. (1979). Chief executives define their own data needs. *Harvard business review*, 57(2), 81-93.
- [41] Kurt, Ü., Can, M., Yahşi, M., Adıgüzel, N., Özkul, H., Turhan, A., ... & Üzer, S. (2023). Bor madenleri nedir? Nerelerde kullanılır? Türkiye ekonomisine etkileri ve dünyadaki yeri. *International Journal Of Social Humanities Sciences Research*, 10(94), 937-946.
- [42] Özdemir, A. (2023). Türkiye’de li-ion pil üretimi yatırımları. *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(19), 79-86.
- [43] Arslan, H. (2023). Yenilenebilir enerji yatırımlarının finansman modelleri. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 10(4), 833-846.
- [44] Tuna, İ. K. (2010). Stratejik ve kritik madenlere ilişkin küresel politikalar çerçevesinde Türkiye’deki stratejik ve kritik madenlerin ulusal güvenliğe etkileri (Master's thesis, Sosyal Bilimler Enstitüsü).
- [45] Tomazinakis, S., Valakas, G., Gaki, A., Damigos, D., & Adam, K. (2022). The importance and challenges of sustainable development for the raw materials sector: the views of key stakeholders in three ESEE countries. *Sustainability*, 14(7), 3933.
- [46] EBRD Extractive Mining Industries Strategy, 2018–2022. As Approved by the Board of Directors on 13 December 2017. 2017.
- [47] Derse, O., & Göçmen, E. (2018). A Simulation Modelling Approach for Analysing the Transportation of Containers in A Container Terminal System. *International Scientific and Vocational Studies Journal*, 2(1), 19-28.

Revitalizing Turkish Mythological Elements through Artificial Intelligence Applications in Graphic Design: A Case Study on Midjourney

Dilek Aydemir ^{a,1}

^a Tokat Gaziosmanpaşa University, Tokat, Turkey
ORCID ID: 0000-0003-4194-6030

Abstract

Artificial intelligence has become a new form of expression within our digitally evolving lives. By using illustrations to narrate stories visually, it's possible to visualize cultural values, traditions, and myths, making them more understandable. Fusing traditional storytelling techniques with the digital capabilities of new technologies like artificial intelligence is a powerful tool for revitalizing stories and traditional narratives, adding a new dimension to these tales and myths. Understanding how we can revive traditional narratives and myths is crucial in grasping their role in preserving cultural heritage and passing it down to future generations. Therefore, comprehending how artificial intelligence can be utilized in this field is essential. This study examines how traditions and myths can be revived through artificial intelligence, addressing fundamental concepts like AI and graphic design. To achieve this, some legendary characters from Turkish mythology were selected, and reconstructions of these characters were created in the Midjourney application, contrasting with previous illustration examples. This research article is believed to contribute to defining this contemporary technology in today's ever-changing world and tomorrow's design, where it redefines the design concept.

Keywords: “Artificial intelligence, midjourney, graphic design, illustration, Turkish mythology.”

1. Introduction

Artificial intelligence technologies have profoundly influenced and transformed the world of graphic design. AI presents unprecedented opportunities in graphic design, offering potentials like speeding up workflows, enabling professional-level productions, and more. Analyzing these new technological developments regarding creativity, originality, and functionality holds critical significance. The debate over whether designs created by artificial intelligence carry traces of human creativity and the limitations concerning essence can arise. Professional plans are expected to stand out aesthetically and in terms of functionality, usability, communication, and alignment with the target audience's needs. Hence, it is crucial to evaluate designs created by AI and their alignment with human users' expectations.

The possibilities AI technologies offer in graphic design facilitate the convergence of traditional elements with modern aesthetics and functionality through contemporary AI art. Revitalized traditional factors and mythological figures through AI play a significant role in cultural transmission. These technological innovations become valuable tools to carry the profound values of the past into today's digital age, aiming to pass them on to future generations. AI, presenting mythological characters as reflections of modern art, holds the potential to effectively convey their meanings, stories, and societal values to future generations. Consequently, regarding the sustainability of our cultural heritage, AI is thought to contribute to reviving traditional elements and introducing them to new generations.

In this study, the application of AI in graphic design reunites traditional elements from the depths of Turkish mythology with contemporary AI art, exemplified in the Midjourney. The aim is to analyze how the creative potential of AI technologies interacts with our mythological heritage. Integrating traditional values with AI and its impact on artistic expression has become a crucial focal point. This process, a synthesis of human creativity and technology, highlights how mythological characters are reinterpreted through the lens of the modern age and underscores the role of art in this transformation.

¹ Corresponding Author
E-mail Address: dilekaydemr@gmail.com

1.1. Purpose and Significance of the Research

In recent times, with the widespread application of artificial intelligence across almost every field, including the arts, this article aims to examine the revitalization of symbols and characters from traditional Turkish mythology through modern graphic design techniques and artificial intelligence applications. It seeks to explore how much artificial intelligence differs from human drawings in the design process. The goal is to merge the rich cultural heritage of Turkish mythology with technology, focusing on the interaction of ancient elements with contemporary art and providing a new perspective. The convergence of traditional and cultural aspects with technological innovations is crucial for their transmission and preservation for future generations. The revival of mythological elements through artificial intelligence is significant as an artistic innovation and for preserving cultural memory. This study aims to present a new perspective on the sustainability of cultural heritage by integrating cultural values with the demands of the modern world.

1.2. Limitations of the Research

The research is limited to the theme of Turkish mythology and legends, and the visual representations in the research application are solely depicted within the Midjourney artificial intelligence application.

2. Methodology

This study adopted the qualitative research method in order to examine and evaluate the designs of selected characters from Turkish mythology (Umay Ana, Algarısı, Ülgen Han, Bozkurt). At the beginning of the study, the relevant literature was reviewed and existing sources on characters from Turkish mythology were analyzed. In the implementation phase, only Midjourney artificial intelligence software was used to create visual designs of the selected Turkish mythology characters. While selecting the characters, a limitation was made in the triad of female-male-animal. Female characters are divided into two as good character (Umay Ana) and bad character (Algarısı). The male character (Ulgen Han) stands out with his divine characteristic. Bozkurt is an important sacred symbol for Turks. It was aimed to diversify the drawings based on the different characteristics of the characters. Finally, the designs created were examined and the positive and negative aspects of the designs were analyzed.

3. Conceptual Framework

3.1. Artificial Intelligence Technology

Artificial Intelligence (AI) is a continuously evolving technology that enables computer systems to develop human-like intelligence and thinking abilities. AI targets computers to perform tasks akin to human intelligence, such as visual perception, natural language processing, learning, decision-making, and problem-solving.

The concept of artificial intelligence fundamentally traces back to the early 20th century, with its origins extending further back in history. Alan Turing, an acclaimed British mathematician and cryptanalysis expert hailed as the father of computer science, prominently stands out in this field. In 1950, Turing laid the groundwork for artificial intelligence by posing, 'Can machines think?'[1] Alan Turing, recognized as the pioneer of the field, introduced the concept of the "Turing Test" in 1950. This test aims to measure whether a computer can behave like a human. The "imitation game," developed by Alan Turing, essentially seeks an answer to the question, "Can machines think?" The game involves three participants: a man, a woman, and an interrogator. The interrogator, in a separate room from the other players, attempts to guess their genders based on typed questions and responses. The game's challenge lies in one participant consistently lying to the interrogator while the other always tells the truth. For instance, one player might say, "I am the man," while the other claims, "No, I am the man, don't listen to him!" Turing adapted this game and transformed the queried characteristics from gender to human-machine aspects. Ultimately, if the interrogator becomes convinced that the machine is human, the machine passes the Turing test [2]. Another significant milestone in artificial intelligence was the introducing of the term "artificial intelligence" by computer scientist John McCarthy at the Dartmouth Conference in 1956. A notable development in 1997 was the artificial intelligence program "Deep Blue," developed by IBM, which played against and defeated world chess champion Garry Kasparov, causing a significant sensation worldwide. During the match, Deep Blue made 200 million chess moves per second, showcasing instances where computer programs could outperform humans [3].

There still needs to be a consensus on the exact definition of artificial intelligence, and researchers interpret it differently across various platforms. Artificial intelligence has intersected with realities such as machine learning, deep learning, Augmented Reality (AR), Virtual Reality (VR), and Mixed Reality (MR), among others. Whether machines can think exactly like humans is still debated [2].

3.2. Artificial Intelligence Developments in Graphic Design

From a graphic design perspective, artificial intelligence is a type of intelligence that is installed on machines with algorithms created by humans [4]. Here, artificial intelligence is a system that analyzes the commands entered into it and creates visuals as a result. It provides designers with an interdisciplinary and wide working area. It can be used in many different fields besides art and graphic design [5]. In the 21st century world, art and design continue to find new and constantly evolving channels [6]. Artificial intelligence is one of these new mediums and while it opens an unlimited door for designers, it also helps them quickly create difficult images that designers find impossible. This is done by analyzing various data and using cognitive abilities to check whether different objects are relevant in the design. AI-powered systems also have the ability to select appropriate color combinations, backgrounds, fonts and overall layout. These capabilities of AI can make the process much more time and cost efficient for designers [7]. Today, manual work has been automated as a result of the opportunities offered by technology [8] and artificial intelligence can optimize design processes and save time. For example, AI-powered design systems can be used to meet a brand's need for a logo with thousands of variations. An example is Nutella, the Italian Ferrero brand. In 2017, Nutella sold 7 million jars in just 1 month. Deciding to renew its labels with colorful and fun designs, Nutella pulled patterns and colors from the algorithm database, created 7 million different designs and applied them to its jars (Figure 1,2,3.). Here, the algorithm took on the traditional role of the designer and created millions of unusual packaging designs for Nutella that designers would perhaps create in a very long time, or perhaps never create so many different variations [9].



Figure 1, 2, 3. Examples of Nutella's graphic identity are created with artificial intelligence technology [10].

Artificial intelligence encourages the creativity of designers and artists, assisting them in creating unique and original works. Designers can collaborate with artificial intelligence to explore new forms and perspectives through human-machine collaboration. Artificial intelligence can analyze user preferences, providing personalized art and design experiences.

3.3. Midjourney

Various platforms highlighting the interaction between artificial intelligence and art have been made available to users, offering the opportunity to create creative projects. These software programs utilize AI features to expedite users' design processes and achieve more innovative outcomes. Midjourney is an AI service that generates images based on input linked to an entrance in a Discord server. It enables the creation of impressive visuals by inputting text preferences and creative themes. Drawing insights from millions of artboards entered into its software, Midjourney can comprehend design principles and generate creative visuals. Besides image creation, the Discord server allows interaction with users worldwide who have similar interests. Users can share their created images, discover others' products, engage with artists who share similar thoughts, and participate in live discussions [11]. Before purchasing the Midjourney service, users can create 25 free images to experience its functionality. Users looking to continue their experience can opt to buy various packages available.

3.4. Recreation of Traditions and Myths with Artificial Intelligence

With the advancement of artificial intelligence, the role of technology is also evolving. One of the areas where this change is evident is in graphic design. Algorithms in graphic design can generate new outputs through deep learning models based on machine learning [12]. Artificial intelligence applications are currently prevalent among users, offering diverse experiential opportunities in art and design.

New studies facilitated by artificial intelligence present an opportunity to reintroduce forgotten or unillustrated mythological elements and characters to new generations, thus effectively preserving cultural memory. Data obtained from ancient texts or oral descriptions can be analyzed and combined with modern graphic design techniques, visualizing and digitally revitalizing mythological elements. Blending traditional elements with a modern artistic perspective allows for a fresh outlook. Projects

involving artificial intelligence offer a chance to reassess the mythological aspects of a culture from the perspective of the contemporary era, aiding in the preservation of cultural identity and comprehension of its relevance in the modern world. Revived mythological elements through artificial intelligence, combined with the broader accessibility of digital platforms, enable traditional mythology to reach and resonate with a larger audience, potentially gaining popularity. This convergence bridges technology and traditional culture, supporting the transmission and preservation of cultural heritage to future generations. Artificial intelligence has the potential to stimulate the creativity of artists and designers, fostering the emergence of new artworks.

3.5. The Concept of Mythology and Turkish Mythological Heroes

Mythology is a narrative system encompassing a community or culture's traditional stories, epics, symbols, and legends. 'mythology' is derived from combining the words 'mythos' and 'logos' [13]. These stories often involve extraordinary entities such as gods, heroes, creatures, and natural phenomena. Mythological narratives reflect the beliefs, values, and understanding of a community's past, often being orally transmitted and thus undergoing changes over time.

It is presumed that mythology originates from the early endeavors of human communities to comprehend nature, the universe, and human existence. Early humans resorted to mythological stories to explain natural phenomena, their presence, and surroundings, which they found challenging to understand [14]. Over time, these stories became part of society's belief systems, serving as a significant element of cultural identity.

Addressing the functions of mythology, as mentioned, mythology emerged as an endeavor to seek the meaning of the universe and human existence. Myths aim to simplify complex and unknown truths for explanation. Additionally, mythology constitutes an essential element in shaping a community's identity. Mythological characters, heroes, and gods symbolize a community's history, heritage, and culture [15]. Mythological stories reflect a society's values, norms, and ethical principles, representing a mirror of the social order within a community. Moreover, through the historical transmission of mythology, the aim is to sustainably pass on a society's norms, moral attributes, and the 'ideal.' Indeed, these narratives often contain moral teachings, signifying the 'ideal' for that society.

Traditionally, mythology has been transmitted through oral narratives; however, written sources have also been added with the invention of writing. Today, mythology spreads through literature, visual arts, theatre, cinema, and other media. Moreover, it can transition from one culture to another, fostering interactions between different cultures. In summary, mythology encompasses a culture's collective consciousness, creation beliefs, and system of meaning. Analyzing mythological elements is an important research area for understanding a community's worldview and values.

Turkish mythology also possesses a rich and diverse structure. Delving into the depths of Turkish mythology to comprehend its fundamental concepts and functions is a crucial step in realizing the significance of this rich cultural heritage. Mythology is not only about legends and characters but also a foundational element shaping a community's values, beliefs, and social structure. The subsequent sections of this study will feature some significant characters and attributes from Turkish mythology to be re-visualized using artificial intelligence.

3.5.1. Umay Ana/Umay Mother

Pre-Islamic Turkish mythology holds a rich cultural heritage where female figures have played a significant role. Reviewing relevant literature shows that women held a presence in governance and politics among the ancient Turks, participating in councils and directly taking over governance without a ruler [16]. During this period, women were pivotal in society and emerged as significant characters in mythological stories and epics. One of the most well-known figures is perhaps "Umay Ana" or "Umay Hatun." The existence of Umay Ana in crucial sources of Turkish history, such as the Orkhon Inscriptions [17] and sources like *Divan-ı Lugat-i Türk*, written by Kaşgarlı Mahmut, emphasizes the importance of this mythological figure. In *Divan-ı Lugat-i Türk*, Kaşgarlı Mahmut describes Umay as the "companion of the baby in the womb." Umay, also interpreted as the placenta, was believed to be present alongside the woman and the baby in the womb until birth [18]. Umay Ana, one of the wealthy figures in Turkish mythology, is conceptualized as a mother goddess and a life deity associated with nature, fertility, and abundance. Described in some sources with three horns, dressed in white, and depicted with long, white, or silver hair [19], Umay Ana is considered a nurturing entity in Turkish mythology. As the source of abundance, Umay Ana is believed to bring prosperity to communities and families. She is portrayed as a beautiful, graceful, and benevolent entity. Although the exact origin and source remain unclear, 'Umay' is part of the Turkish mythological system and gradually became a part of the ancient Turkish community's religious system. Indeed, this goddess, also depicted in the belief in the Sky God, holds a distinct significance in Turkish history [20]. While written sources about the Umay legend trace back to the Orkhon Inscriptions, there are also visual depictions, sculptures, and drawings related to this mythological figure.

3.5.2. Alkarısı-Algarısı

Myths, mythologies, and folkloric elements reflect societies' cultural richness and attempts to comprehend the relationship between humans and the universe. These mythological figures symbolize humans' intricate relationships with nature, life, and death. While these narratives might seem like products of early human imagination, they hold deeper meanings when examined. As mentioned in the previous section, in Turkish mythology, Umay Ana assisting mothers and children during childbirth led to her being regarded as a symbol of kindness and abundance. In contrast, the legendary creature known as Alkarısı, unlike Umay, is considered a figure haunting women in the postpartum period or those giving birth, symbolizing malevolence [21]. When examining the myths of Umay and Alkarısı, a perpetual balance has been present throughout humanity's journey in understanding the universe: good and evil, darkness and light, birth and death, war and peace. These mythological figures, not only in Turkish culture but also in mythologies worldwide, explore similar themes. Universal concepts like Ying-Yang represent the balance between good and evil, reflecting dualities present in many cultures.

Alkarısı appears prominently in Turkish mythology as a malevolent entity capable of causing harm to pregnant women and mothers giving birth. This legendary creature is often depicted as the evil mood of a woman or the desire of a deceased woman's spirit to harm an unborn child. According to some sources, this creature is described as giant-like, tall, with long fingers and nails, having a hideous and repulsive face. Its body is oily, with tangled black hair and a gigantic head. Its teeth are large and spaced apart like a horse's, and its feet are reversed [22]. The portrayal of Alkarısı in dark clothing has associated it with darkness and death. According to some accounts, its breasts are described as ugly and sagging [23]. Legend has it that Alkarısı intends to interfere with the lives of mothers and children during childbirth [24]. The Alkarısı legend is shaped to reflect society's anxieties and concerns regarding pregnant women and mothers giving birth. This mythological creature serves as a symbolic expression of fears related to fundamental human experiences such as fertility, childbirth, and motherhood.

3.5.3. Ülgen Han/Ülgen Khan

Ülgen Khan appears as a popular deity figure in Turkish mythology. This deity, associated with natural phenomena such as wind, storms, and thunder, has also found a place in ancient Turkish beliefs. In the rich narratives of Turkish mythology, Ülgen Khan stands out among the deity figures representing the forces of nature, often referred to as the master of winds and the protector of abundance. This deity, invoked with thunder, reflects the Turks' perspective on natural events and the cycle of life [25]. Ülgen Khan is generally depicted as a deity residing either on the peaks of high mountains or among the clouds in the sky [26]. Ülgen has a palace and a throne made of gold. He is depicted in human form, usually with long hair, and holds a lightning bolt as a bow. Additionally, Ülgen Khan's primary adversary in mythology is Erlik Khan. Erlik Khan is a god dwelling underground and symbolizing evil. In these characteristics, Ülgen and Erlik show similarity to Zeus and Hades in Greek mythology [27]. (Ülgen holds a significant position in the belief of the Sky God and is presumed to be the primary creator. Indeed, prayers, sacrifices, and offerings made to Ülgen in ancient Turkish societies support this belief [28]. Found in the earliest epics attributed to the Turks, the Creation Epic belonging to the Altai Turks holds a prominent place for Ülgen Khan, thus indicating deep-rooted historical significance [29].

3.5.4. Bozkurt/Grey Wolf

The Bozkurt, holding deep significance in Turkish mythology, has held a special place in Turkish culture for centuries. Although the Bozkurt has been attributed with different meanings at different times, generally, it symbolizes values like independence, freedom, and heroism [30]. The tale of the Bozkurt is often narrated in the epics and stories of Turkish mythology (Figure 4). In these epics, the Grey Wolf serves as an inspiration for heroic adventures for the Turkish nation. The portrayal of the Bozkurt as a courageous and free being symbolizes the Turkish people's passion for freedom and the desire for independence. References indicate stories of a child nursed and raised by wolves [31]. These stories prove that the connection between Turks and the Bozkurt extends beyond a spiritual bond to a biological one.

The legend of the Bozkurt can be found in significant sources in Turkish mythology. In the Epic of Ergenekon, attributed to the Göktürks, the Bozkurt is depicted as the first Turkish ruler, showing the path to salvation for the Turks, interpreted as the son of Noah, the Prophet. Similarly, in another critical epic, the Oghuz Khan Epic, written in Uyghur script, the Bozkurt is represented as a manifestation of the warrior spirit of the Turks [32]. Depictions of the Bozkurt have varied in different artworks and traditional embellishments over time. However, the Bozkurt is generally portrayed as powerful, majestic, and noble. The Bozkurt is typically depicted with a single head, symbolizing unity and integrity. The single-headed Bozkurt represents the unity, strength, and ability to act as a single body of the Turkish nation [33]. The wolf's image was used on the Turkish lira in the Republic's early years. In 1927, on the first Turkish lira printed by the Central Bank of the Republic of Turkey, the wolf figure was used to symbolize the Turkish nation's strength, independence, and freedom at that time (Figure 5).



Figure 4. Examples of Bozkurt drawings in Turkish mythology [34]. Figure 5. 1927 edition of Turkish Lira [35].

4. Findings

This section examined artificial intelligence applications reimagined with the Midjourney application alongside existing illustrations of selected mythological characters from Turkish mythology.

4.1.1. Umay Mother Design Through Midjourney



Figure 6 (left). Illustration by Esra İter Demirbilek, Umay Ana [36]. Figure 7 (middle). Illustration by Yiğit Yerlikaya, Umay Ana [37]. Figure 8 (right). Illustration by Bartu Bölükbaşı, Umay Ana [38].

Umay Ana or Umay Hatun is known in Turkish mythology as embodying abundant, fertility, motherhood, childbirth, and family concepts. She's the guardian of pregnant women and babies. Visually, she's often depicted as a youthful, beautiful woman with three horns, sometimes also portrayed as winged. Her hair is typically lengthy and light-colored/white. In figure 6's illustration, Umay Ana is depicted as a large-winged, white-haired figure with three horns. As Umay Ana is associated with nature and abundance, various plant figures are chosen as the background in this illustration. Again, in Umay's arms, a young animal symbolizes nature, life, childbirth, and abundance.

In figure 7, emphasis is placed on Umay Ana's protective nature. Umay Ana is depicted beside a baby's cradle, safeguarding mothers and babies against malevolent forces. Umay is again shown as winged, but instead of horns on her head, a traditional crown, symbolizing her sanctity, is preferred. In figure 7, Umay Ana appears more like a warrior goddess than in other illustrations, holding a helmet and a staff. She stands victoriously, defeated a sprawling enemy, gazing triumphantly toward the audience. In the background, winged warriors soaring in the sky create a more mythological setting—figures 6, 7, and 8 showcase modern illustrations of Umay Ana. The following examples will delve into Umay Ana drawings created using artificial intelligence technology on the Midjourney application.

Prompt for Figure 9: A beautiful and protective goddess, dressed in white clothes, with three horns and very long white hair, her hair flowing down her shoulders.

Figure 9 presents the initial drawing of Umay Ana created in the Midjourney artificial intelligence application. The descriptions given in the command focus on the appearance of the Umay Ana character. The resulting drawing creates a horn effect, resembling rays of light instead of directly placing horns on the surface. Notably, the background of the figure contains numerous creatures with multiple horns. Umay's appearance in the drawing aligns with the command, displaying her in long white garments and long white hair, following a fantastical style. However, there are anatomical irregularities in the figure's hands and fingers.



Figure 9. Umay Ana Design via Midjourney.

Prompt for Figures 10, Figure 11: A protective goddess with three horns, one next to each of her temples and one in the middle of her head, with long white hair and dressed in a long white gown, beautiful and protective, caring for children and mothers.

As a result of the commands entered for Figures 9 and 10, the following depiction of Umay Ana has been created. Despite the order specifying three horns, the figures depict two funnels in one and four in the other. Umay, dressed in a long white gown, possesses the described long white hair. The command implies her role as a protector of women and unborn babies until delivery, hence the phrase 'caring for children and mothers.' Based on this, in Midjourney's interpretation, Umay is portrayed holding a little girl in figure 9, while in figure 10, she embraces one girl, and a second girl is depicted in front of her.



Figure 10 (left). Umay Ana Design via Midjourney. Figure 11 (right). Umay Ana Design via Midjourney.

Prompt for Figures 11 and 12: A nine-month pregnant woman lying on a bed, accompanied by a protective goddess in a white dress with wings and horns.

As a result of the commands entered for figures 12 and 13, the following depictions of Umay Ana have been created. In figure 11, the character is depicted in human form with wings, standing beside a young pregnant woman whose belly isn't prominently featured. Contrary to the command, neither the branches nor the horns are depicted simultaneously. Figure 12 presents a similar composition; Umay, in human form, is seated on the bed, but instead of a pregnant woman, a little girl is lying in her lap, holding Umay Ana's finger. These illustrations depict Umay Ana and her companions in a serene and secure setting."



Figure 12 (left). Umay Ana Design via Midjourney. Figure 13 (right). Umay Ana Design via Midjourney.

Prompt for Figure 14: Turkish goddess, white long-haired, female, horned, baby, womb, celestial background.

The commands for Figure 14 resulted in the following depiction of Umay Ana. The orders included "baby, womb," stemming from the belief of "Umay Ana being the partner of the baby in the womb." Consequently, the figure portrays Umay Ana holding a baby and looking at it. The figure has seven horns, and there are some anatomical discrepancies in the baby's body. The commands did not provide background information, and the application filled in the background.



Figure 14. Umay Ana Design via Midjourney.

Prompt for Figure 15: Umay Ana from Turkish mythology, Turkish style.

The short commands provided for figure 15 resulted in the following depiction of Umay Ana. The created Umay figure has long, dark hair typical of a Turkish woman, crafted in a more oriental style than other fantastical drawings. The figure wears a crown of horns on her head, drawing attention to her accessories.



Figure 15. Umay Ana Design via Midjourney.

4.1.2. Alkarısı/Algarısı Design Through Midjourney

In Turkish mythology, the character Alkarısı/Algarısı is described as an evil and demonic entity, depicted as a devil. It's a legendary creature that afflicts pregnant women, causing distress and fear, with the intent of harming their babies. While there are variations in depictions across different sources, there's a consensus that it's hideous, frightening, and threatening. Figure 16 is portrayed as resembling a gigantic gorilla rather than a human body covered in fur, with a partially human-like face, long disheveled hair, and large sagging breasts. In figure 17, artist Murat Palta's depiction showcases Algarısı's spite towards the unborn babies of pregnant women. The illustration shows Algarısı with a body resembling a human form but with a more monstrous face, draped in red fabrics with vibrant colors chosen for emphasis. Algarısı is depicted in this artwork as removing organs from the pregnant woman's abdomen. Figure 18 presents another illustration of Algarısı. Here, the artist, inspired by the theme of the demonic Algarısı attacking babies in the mother's womb, creates an imagery of a creature's head, visualized like a womb, with a fetus positioned inside, portraying this being as the demonic Algarısı through two horns protruding from the head. The use of red in the drawing completes the triangle of womb-blood-death action.

Figure 16 showcases historical depictions, while figures 17 and 18 present contemporary representations of Algarısı. Subsequent examples will explore Algarısı illustrations created through artificial intelligence technology in the Midjourney application.



Figure 16 (left): Alkarısı illustration, Designer unknown [39]. Figure 17 (middle): Alkarısı illustration, Illustration by Murat Palta [40]. Figure 18 (right): Alkarısı illustration, Illustration by Emre Aciyan [41].

Figures 19, 20, 21, and 22 display the initial drawings of the Algarısı character created through the Midjourney artificial intelligence application. Key terms were entered into the Prompt section in the Midjourney interface, and after refining the generated results, the following visuals were obtained.

Prompt For Figures 19 and Figure 20: Feet facing the backward, realistic, evil woman, ugly, very long, very long nails, black dress, messy hair, feet backward, oily body, dirty, mythological creature, goblin, scary, a nightmare.

Based on the input provided for figures 19 and 20, the following Algarısı characters were created. When providing visual instructions within the Midjourney application, it's observed that using precise, concise phrases and describing features word by word rather than lengthy sentences gets closer to the desired result. In figure 19, attention is drawn to the character's backward feet. The figure's body is positioned opposite the viewer, achieving the desired backfoot appearance. The input stated that the surface had long fingers and nails, illustrating the figure's hands as long, vine-like structures. At this point, it can be said that Midjourney doesn't strictly adhere to the user's command but leverages various data in its universe to create the outcome. Vine-like structures are seen on either side of the figure. In figure 20, another product from the same commands is observed. Here, the figure faces the viewer, and similar vine-like imagery continues. The instruction indicated the figure should have an oily and dirty body, and the visual shows the figure clothed but with a fluid-like substance, possibly oil or blood, flowing over the clothes. The figure's hands and long fingers are more pronounced in this drawing. However, achieving the requested backward feet specified in the command was unsuccessful. Reflecting the malevolent nature of the Algarısı creature and the words "nightmare, frightening" in the description, Midjourney created a dark, misty, and eerie atmosphere as a background. Moreover, it's observed that while entering verbal instructions into the prompt/message section for the desired drawing, some command inputs are restricted by the Midjourney application. For instance, in requesting Algarısı to have significant and droopy breasts like in figure 16, the prompt was rejected due to "violation of community guidelines."



Figure 19. Algarısı Design via Midjourney. Figure 20. Algarısı Design via Midjourney.

Prompt For Figure 21: Mythological character, woman, evil, genie, scary, in a long black dress, like a giant, with a big head, long hair, black and tangled, fingers and nails very long, feet upside down at the ankles, feet turned backward, eyes red, ugly.

Based on the provided keywords for figure 21, the following Algarısı character has been created. The generated visual portrays the demonic Algarısı figure appearing as if about to take action. Its long, dark hair seems partially ablaze, reminiscent of the mythological Medusa's snake-like hair. Similar to previous drawings, a dark background has been chosen. However, the lower part of the figure's legs/feet is not included in the scene, and the characteristic of backward feet mentioned in the command is not depicted in the drawing.



Figure 21. Algarısı Design via Midjourney.

Prompt for Figure 22: Evil, bogie, messy, dark-haired woman creature next to a pregnant woman.

Based on the entered keywords for figure 22, the following Algarısı character has been created. The command requested the depiction of both Algarısı and a pregnant woman together due to Algarısı's affliction on pregnant women. In this illustration, a pregnant woman, slightly showing her belly and calmly standing, is seen, while behind her is the Algarısı, leaning forward toward the woman, with an open mouth, red eyes, crooked teeth, and thick, grotesque skin, giving a threatening look towards the viewer, positioned at the back of the pregnant woman's neck. In the background, faintly visible behind the pregnant woman, is another pregnant figure with folded hands on her abdomen. The application has added the woman to the environment. The instructions provided to the application for this drawing are relatively less detailed than the descriptions in other drawings, resulting in a different Algarısı appearance, with a face resembling human form but also evoking an image akin to a demonic, sinister woman.



Figure 22. Algarısı Design via Midjourney.

4.1.3. Ülgen Han Design Through Midjourney

In Turkish mythology, Ülgen Han is a guardian of nature and life. He governs natural phenomena like storms, lightning, and thunder. Ülgen Han is revered among the sky gods and is depicted in human form. He's seen as the god of water and rain, which grant life to humans, symbolizing fertility. He is shown seated on a golden throne with a lightning arrow—figures 23 and 24 showcases two different illustrations of Ülgen Han. In figure 23, Ülgen is portrayed fantastically, resembling a superhero-like character with attire akin to a comic book hero, depicted amidst lightning and sky-related events. Figure 24, however, illustrates Ülgen in a more traditional Turkish style, with a mustache and wearing ancient clothing characteristic of Turkish culture.

In Figure 23 and Figure 24, illustrations of Ülgen Han can be seen. Subsequent examples will delve into the Ülgen Han drawings created using artificial intelligence technology in the Midjourney application.



Figure 23 (left). Illustration by Mustafa Uslu [42]. Figure 24 (right). Drawing (illustrator unknown [43]).

Prompt for figure 25 and 26: Wind storm god, mythological character, long hair, lightning, holding a lightning arrow and bow, sitting on a golden throne, in the clouds, Turkish mythology.

In the light of figure 26 and the words entered for figure 26, the following Ülgen character was created. It is estimated that Midjourney drew Ülgen Khan as a character with black hair, mustache, and beard because of the keyword "Turkish mythology." In figure 25, it can be seen that he is holding his staff in one hand, and in figure 26, he is holding staff in both hands. In both figures, lightning comes out of his scepter, and it can be seen that he sits majestically on his throne above the clouds. Although the entered command contains the phrase "sitting on a golden throne," we cannot see the throne as gold in figures 25 and 26. However, it can be said that the armor similar to the gladiator armor worn by the character resembles gold.



Figure 25. Ülgen Han Design via Midjourney. Figure 26. Ülgen Han Design via Midjourney.

Prompt for figure 27: Appearing from the lightning, mythological character, god of lightning, Turkish mythology, long black hair, long beard, holding a staff made of lightning.

In the light of the words entered for figure 27, the following Ülgen character was created. Figure 27 shows a much more imposing, significant, and threatening god figure than Ülgen Khan's other drawings. Ülgen Khan emerges from the lightning with his staff in his hand. Defined as a protector god of nature, Ülgen is also the god of the heavens and is associated with the color blue. In the created image, blue tones and the night image are dominant.



Figure 27. Ülgen Han Design via Midjourney.

Prompt For Figures 28 and Figure 29: In Turkish mythology, the god of a storm, with long black hair and a beard, surrounded by lightning, against the evil character who is his enemy, fighting in the sky, in the storms.

In the light of the words entered for figure 28 and figure 29, the following Ülgen characters were created. The similarities with the Ülgen character we have seen in the previous figure 27 example draw attention to this. Although the Ülgen character is very similar to the previous one in type, the staff detail is not entered here in the message/prompt section. In figure 28, it is seen that Ülgen has a ball of fire in his hand instead of a staff; in figure 29, it is seen that lightning comes out of a hammer-like tool in his hand. In addition, although a possible enemy and a battle scene were requested to be drawn in the written commands entered, it is seen that a second figure was not added to the stage.



Figure 28. Ülgen Han Design via Midjourney. Figure 29. Ülgen Han Design via Midjourney.

4.1.4. Bozkurt Design Through Midjourney

In Turkish mythology, the legend of Bozkurt has an important place. According to Turkish mythology, a child was raised by a female bozkurt and breastfed, protected, and raised by the bozkurt. The boy grew up with the grizzly wolf, learned to survive with its teachings, and understood the powers of nature. This legend emphasizes the power of nature in Turkish culture and the relationship and solidarity of man with heart. Bozkurt stands out as a figure that carries a deep symbolism in Turkish culture and has become a part of the national identity and a sacred figure of the Turks. The Bozkurt figure has become a holy symbol and was adopted as a national symbol by the Turks.

There are various similarities between the legend of the Bozkurt and the story of the twin brothers Romulus and Remus, the founders of Rome from Ancient Roman mythology. Both stories involve a wolf figure, and these wolves care for human children. The wolf figure in both narratives has a protective and guiding role.

Figures 30 and 31 show Bozkurt illustrations estimated to belong to the past period. In the following examples, Bozkurt illustrations made in the Midjourney application with artificial intelligence technology will be analyzed.

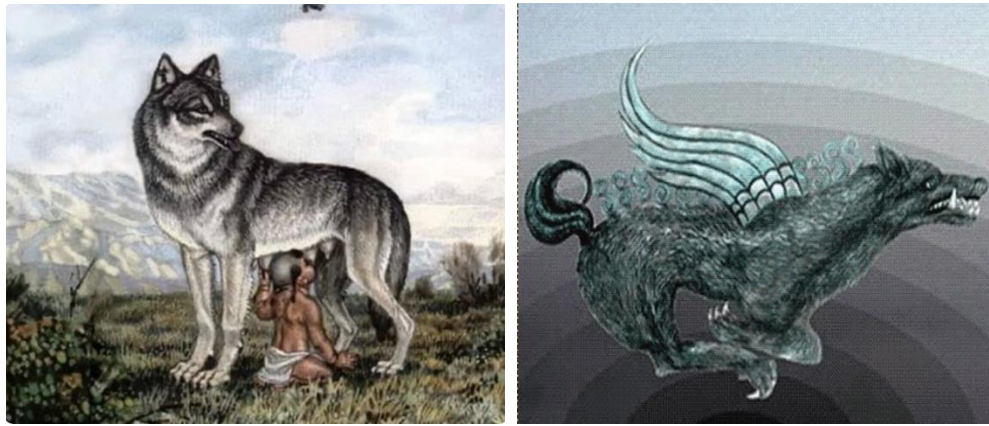


Figure 30. Bozkurt drawing (illustrator unknown), [44]. Figure 31. Bozkurt drawing (illustrator unknown), [44].

Prompt for Figure 32: The vast big wolf and little newborn human in the jungle, wolf taking of a baby boy, epic, Bozkurt, Turkish mythology, realistic, pastel colors.

The following wolf character was created according to the words entered in figure 32. Figure 32 shows a fantastic scene. A large wolf with humanoid features and wearing clothes is seen offering a plate of food to a little boy.



Figure 32. Bozkurt Design via Midjourney.

Prompt For Figure 33: Mother Bozkurt breastfeeding her little child, motherhood, mythology, Turkish mythology, forest, gray wolf epic.

By the commands entered for figure 33, the following wolf character and child figure were created. In this drawing, the authorities try to emphasize the theme of motherhood, and it is seen that a giant wolf is handing something to a little girl, probably to feed her. With the commands, it was tried to draw the event of "the wolf breastfeeding the little child" according to the legend, but no result was obtained for this scene.



Figure 33. Bozkurt Design via Midjourney.

Prompt For Figure 34: The vast big wolf and little newborn human in the jungle, wolf taking of a baby boy, epic, Bozkurt, Turkish mythology, realistic, pastel colors.

The following image was created with the commands entered for figure 34. The controls are similar to figure 33, where the part about the wolf feeding the child was removed from the authorities. In the created image, a baby is seen in a swaddling-like area in the forest, and the wolf is seen leaning toward the baby. The fact that the wolf is holding its paw on the baby is considered an excellent detail, showing that it cares for and protects the baby.



Figure 34. Bozkurt Design via Midjourney.

5. Conclusion

Artificial intelligence is not only an assistant to designers in today's graphic design field but also offers users a potential full of promises. While the productions in this field attract attention with factors such as speed, economy, and professionalism, they

also affect essential elements such as creativity, originality, and functionality. The interaction between design software and innovations in the field of design provides great opportunities to the designer in solving problems in the field of design [45]. The possibilities AI-supported graphic design offers allow designers to manage their time better and focus on more projects. Combining traditional mythology with artificial intelligence can build an exciting bridge between the old and the new. It is thought that AI can reinterpret ancient myths with modern perspectives, which can preserve cultural heritage while at the same time passing it on to new generations. Re-visualizing the characters in Turkish mythology with artificial intelligence can translate these figures into today's visual language, making them more accessible.

In this study, Mother Umay, Algarısı, Ülgen Han characters, and Bozkurt legend were selected from Turkish mythology, and these mythological characters were redrawn with Midjourney, one of the artificial intelligence technologies, and traditional elements were blended with the technology of the new age. By remaining faithful to the descriptions of the selected mythological characters according to the legends, these descriptions were entered into Midjourney as commands, and re-illustrations were made with some repetitions and improvements over the images obtained and shared in the study. Notably, the drawings produced through Midjourney in the sample are generally fantastic style drawings. However, in the application, the user can enter whichever style they want to use in their drawing in the message/prompt section, and different results can be obtained.

Some of the drawings created in Midjourney showed obvious anatomical errors (especially in the hands and fingers). This is seen as a feature of artificial intelligence technologies that still need development.

While entering commands to create an image in Midjourney, it was observed that the application did not accept some orders and did not start drawing. In this case, "Sorry! Our AI moderators think that your request may be against our community standards" and wait for you to change your command (Figure 35). For example, if you have an order that contains excessive sexuality, the application will reject it. While this is a precautionary measure to prevent users from creating some sensitive content (e.g., racist designs, etc.), it is also an indication that users do not have unlimited power.



Figure 35. Midjournej warning, screenshot.

Another point detected while creating drawings in the Midjourney application is that only some commands you enter give a one-to-one result. For example, while drawing Mother Umay's character in the study, the expected image could not be obtained despite entering the "three horns" command several times. On the other hand, images with two horns or many more horns were obtained. As a result of these experiences, it can be interpreted that the application receives a result by combining your and its ideas based on the commands you enter. The importance of human touch features such as creativity and originality in the production process with artificial intelligence cannot be denied. Originality is the uniqueness and creativity of a design. On the other hand, artificial intelligence produces designs by analyzing previous patterns in its universe or considering trends. Since artificial intelligence does not respond directly to every desired command, it may be difficult for these designs to carry that unique and special touch created by humans. At this point, the human designer's creative thinking ability and personal experiences come into play. Artificial intelligence can increase functionality through data analysis and user feedback, but it is thought that human design can ensure that it targets real user needs and emotional connections.

As a result, artificial intelligence is developing more and more every day. When it is carried to an even better point tomorrow, with the balance between artificial intelligence and graphic design, excellent results can be achieved by combining human creativity and technology. While the speed and efficiency provided by artificial intelligence will improve designers' workflows, human emotion, originality, and aesthetic understanding will add meaning to the depths of design. These new technologies should be used to support and develop human creativity and create productive co-operation between man and machine. It is thought that the collaboration of artificial intelligence and human ingenuity can lead to the emergence of new and impressive perspectives in graphic design.

References

- [1] E. Yazar, Uluslararası Hukukta Yapay Zekâ Teknolojisi. Uluslararası Yönetim Akademisi Dergisi, vol. 6, no. 2, pp. 537-553. (2023).
- [2] E. Karaata, "Usage of Artificial Intelligence in Today's Graphic Design," Online Journal of Art and Design, vol. 6, no. 4, pp.183-192, (2018).
- [3] Ş. Kocaman, "Grafik Tasarım Endüstrisinde Yapay Zekâ," Journal of Social and Humanities Sciences Research, vol. 8, no. 77, pp. 3000-3016, (2021).
- [4] A. ÖZDEMİR, "Yapay Zekâ'nın Grafik Tasarıma ve Tasarımcıya Etkisi." Hitit Sosyal Bilimler Dergisi, pp. 628-637, (2022).
- [5] A. G. Pamuklu ve M. B. Fındıkcı, "Grafik Tasarımın Geleceği: Yapay Zekâ ve İnsan," Bilim, Eğitim, Sanat ve Teknoloji Dergisi (BEST Dergi), vol. 7, no. 2, pp. 177-191, (2023).
- [6] Demir, H. "Metaverse Ağında Sanat ve Tasarım: Kullanıcı Arayüzü Tasarımı ve Kullanıcı Deneyimi Tasarımı," Journal of Academic Social Science Studies, 15(90), (2022).
- [7] Das, S., "Transforming advertisement and graphic design through AI." Searchenginewatch.com, September 8, 2020. [Online]. Available: <https://www.searchenginewatch.com/2020/09/08/transforming-advertisement-and-graphic-design-through-ai/>. [Accessed November 2023].
- [8] Arifoğlu, G., & Ruhi, Ç. A. Y. "QR Kod Teknolojisine Göre Düzenlenen Grafik Tasarım Sergisinin İzleyici Gözüyle Değerlendirilmesi", Bilim Eğitim Sanat ve Teknoloji Dergisi, 7(1), pp. 29-46. (2023).
- [9] F. N. Yokuş, (2021, Ağustos 6). *Yapay Zeka Tasarım Dünyasını Nasıl Etkileyecek?* Kasım 2023 tarihinde TR AI: <https://turkiye.ai/yapay-zeka-tasarim-dunyasini-nasil-etkileyecek/> adresinden alındı [8] Aouf, R. S., "Algorithm designs seven million different jars of Nutella", dezeen.com, June, 1, 2017. [Online]. Available: <https://www.dezeen.com/2017/06/01/algorithm-seven-million-different-jars-nutella-packaging-design/>. [Accessed November 2023].
- [10] D. M. Hanna, "The Use of Artificial Intelligence Art Generator "Midjourney" in Artistic and Advertising Creativity," Design Sciences and Applied Arts, vol. 4, no. 2, pp. 42-58, (2022).
- [11] E. Şen, ve B. Atiker, "Grafik Tasarım Uygulamalarında Yeni Bir Aktör: Yapay Zekâ," *JOURNAL OF SOCIAL AND HUMANITIES SCIENCES RESEARCH*, vol. 7, no. 63, pp. 3946-3957, (2020).
- [12] R. Aliyev, Türk Mitolojisi. Ankara, Astana Yayınları, 2020.
- [13] H. Arpaguş, "Mitoloji, Kur'an-ı Kerim Kıssaları ve Kültürel Miras". Marmara Üniversitesi İlahiyat Fakültesi Dergisi, no.25, (2003).
- [14] Y. Öztürk, "Tarih ve Kimlik". Akademik İncelemeler Dergisi, vol. 2, no.1, pp. 1-25, (September 2014).
- [15] O. A. Kayabaşı, "Taşeli Yöresi Tahtacılarının Geçiş Dönemlerinde Mitolojik Unsurlar," Türk Kültürü ve Hacı Bektaş Veli Araştırma Dergisi, no. 78, pp. 139-158, (2016).
- [16] C. Doğan, "Eski Türk Ailesinin Yapısı Ve Fonksiyonları," Marmara Üniversitesi Atatürk Eğitim Fakültesi Eğitim Bilimleri Dergisi, vol. 8, no. 8, pp. 73-81. (1996).
- [17] Ögel, B. Türk mitolojisi: kaynakları ve açıklamaları ile destanlar. Ankara: Türk Tarih Kurumu Basımevi, 1971.
- [18] B. Çemberci, "Türk Mitolojisinde Anaerkillik, Kadın Şaman ve Dişi Ruhlar." İstanbul Üniversitesi, Türk Dili ve Edebiyatı. (2019).
- [19] Karakurt, D. Türk mitoloji ansiklopedisi. Açıklamalı-Resimli. Türk Söylence Sözlüğü, 2012.
- [20] Kayabaşı, O. A. "Türk Mitolojisinin Kutsal Dişisi: Umay." International Journal Of Eurasia Social Sciences, pp. 220-228, (2016).

- [21] Y. Kılıç, ve E. Eser, “Lohusalık Sendromu (al ana/alkarısı/albastı)’nun Eskiçağ Yakınoğu Toplumlarının Kùltürlerindeki İzleri: Lilith Gerçeği,”*Akademik Tarih ve Düşünce Dergisi*, vol. 5, no. 17, pp. 29-60, (2018).
- [22] E. Şimşek, “Türk Kùltüründe “Alkarısı” İnanıcı Ve Bu İnanca Bağlı Olarak Anlatılan Efsaneler . AKRA Kùltür Sanat ve Edebiyat Dergisi,” vol. 5 no. (12), pp. 99-115, 2017.
- [23] A. Gazanfargizi, “Köpek Kadından Lilit, Alkarısı Ve Isıklı-Lilla’ya Kadar Uzanan Mitolojik Hatt.” *Uluslararası Halkbilimi Araştırmaları Dergisi*, vol. 2, no. 3, 125-134, (2019).
- [24] Ö. Demren, Türk Kùltüründe Bir Korku Kùltü Olarak Sivas’ta Alkarısı ve Albasması İnanışı . *Antropoloji*, no. 36, pp. 1-27, (2018).
- [25] E. Kıvrak, “Türk Mitolojisindeki Karakterlerin Analizi Ve Yeniden Tasarlanması” (Master's thesis, İnönü Üniversitesi/Sosyal Bilimler Enstitüsü/Grafik Ana Sanat Dalı/Grafik Tasarımı Bilim Dalı). (2020).
- [26] S. Yeşil, "Türk ve Arap Mitolojisinin Ortak ve Özgün Figürleri". *Şırnak Üniversitesi İlahiyat Fakùltesi Dergisi*, vol. 11, no. 24, pp. 368-392, (2020)
- [27] D. M. Akman, ve Ü. Y. Köktan, “Türk Ve Yunan Mitolojilerindeki Yeraltı Âlemine Ait Unsurlar.” *Turuk*, vol. 7, no. (19), (2019).
- [28] SARI, İ. Şamanizm: İnanç ve İbadetleri. Antalya: Net Medya Yayıncılık, 2017.
- [29] R. G. Kayabaşı, “Altay Yaratılış Miti İle M. Necati Sepetçiođlu'nun Yaratılış Destanının Yüzeysel Yapı Unsurları Bakımından Karşılaştırılması”, vol. 7, no. 22, pp. 229-248. (2016).
- [30] E. Balcı, ve O. Özkul, “Türklerde Bozkurt Sembolüne Yüklenen Anlamın Kutsallık Bağlamında Dönüşümü,” *Yorum Yönetim Yöntem Uluslararası Yönetim Ekonomi ve Felsefe Dergisi* , vol. 9, no. (1), pp. 37-48, (2021).
- [31] F. Bayat, “Türk Mitolojisinde Dađ Kùltü,” *Ü.A.K Folklor/edebiyat Dergisi*, vol. 12, no. (46), (2006).
- [32] S. Yılmaz, “Türk Mitolojisinde Bilgelik Kavramı”. *Türk Dünyası Bilgeler Zirvesi: GönülSultanları Buluşması. 26-28 May 2014. 2013 Türk Dünyası Kùltür Başkenti Ajansı (TDKB). Eskişehir*, pp. 231-249, (2014).
- [33] H. Baltacı, “Türk Mitolojisinin Plastik Sanat Eserlerine Yansıması.” *Uluslararası Disiplinlerarası ve Kùltürlerarası Sanat* , vol. 5, no. 10, pp. 85-100, (2020).
- [34] Okuryazarım, “Türk Mitolojisinde Börü”, *okuryazarım.com*, May, 13, 2018. [Online]. Available: <https://okuryazarım.com/turk-mitolojisinde-boru/>. [Accessed October 2023].
- [35] Can, T., “Türk Tarihi ve Kùltür Araştırmaları”, *altaylı.net*, 2009, July, 12, 2009. [Online]. Available: <https://www.altayli.net/milli-mucadele-ve-turkculuk-ve-ataturk.html>. [Accessed November 2023].
- [36] Demirbilek, E. İ., “Umay Ana-Mother Umay”. *Behance.net*, [Online]. July, 7, 2023. [Online]. Available: <https://www.behance.net/gallery/174751497/Umay-Ana-Mother-Umay>. [Accessed November 2023].
- [37] Egoistokur, *Egoistokur.com*. November, 2023. [Online]. Available: <https://egoistokur.com/wp-content/uploads/2022/09/Umay-Ana-Yigit-Yerlikaya-Egoist-Okur-scaled.jpg>. [Accessed November 2023].
- [38] Arkeofili, “Türk Mitoloji Atlası: Bartu Bölükbaşı Röportajı”. *Arkeofili.com*, September, 17, 2022. [Online]. Available: <https://arkeofili.com/turk-mitoloji-atlasi-bartu-bolukbasi-roportaji/>. [Accessed November 2023].
- [39] Öztürk, Ö. “Al, Albastı veya Al Karısı inanışı”. *ozhanozturk.com*, November, 20, 2017. [Online]. Available: <https://ozhanozturk.com/2017/11/20/al-albasti-alkarisi-inanisi/>. [Accessed November 2023].
- [40] Örgen, E. “Fantastikte Albastı.” *gzt.com*, July, 24, 2020. [Online]. Available: <https://www.gzt.com/post-oyku/fantastikte-albasti-3534420>. [Accessed November 2023].
- [41] Acıyan, E. “The Field Guide To Evil - Al Karısı,” *behance.net*, August 12, 2020. [Online]. Available: https://www.behance.net/gallery/102322033/The-Filed-Guide-To-Evil-Al-Kars?tracking_source=search_projects&l=1 [Accessed November 2023].

- [42] Kadiođlu, Yağmur. 2023. «Türk Mitolojisi'nin Zeus'u: Ülgen.» *soylentidergi*. 26 Mart. Eriřildi: Kasım 2023. <https://www.soylentidergi.com/turk-mitolojisinin-zeusu-ulgen/>.
- [43] Çelik, Ö, “Türk Mitolojisinde Ülgen'in Yükseliři ve Erlik'in Çöküşü”, *antiktarih.com*, April, 24, 2020. [Online]. Available: <https://www.antiktarih.com/2020/04/24/turk-mitolojisinde-ulgenin-yukselisi-ve-erlikin-cokusu/>. [Accessed November 2023].
- [44] Donanımarşivi, “Türk Mitolojisi: Yaratıklar, Tanrılar, Tanrıçalar”, *donanimarsivi.com*, July, 22, 2022. [Online]. Available: <https://forum.donanimarsivi.com/konu/billinmeyen-tuerk-mitolojisi-1.574957/>. [Accessed November 2023].
- [45] KAYA, S. E. “Interactive Use of Graphic Tools as a Design Process from Image to Reality: Project Example”. *International Scientific and Vocational Studies Journal*, 5(1), pp. 76-85. 2021.

Remote-Controlled Affordable Solenoid Valve Design and a Web-Based Approach to Its Implementation

Mahmut Durgun ^{a,1}, Levent Gökrem ^b

^a Tokat Gaziosmanpasa University, Turhal Faculty of Applied Sciences Department of Electronic Commerce and Management, Tokat, Turkey
ORCID ID: 0000-0002-5010-687X

^b Tokat Gaziosmanpasa University, Department Of Electrical And Electronics Engineering, Tokat, Turkey
ORCID ID: 0000-0003-2101-5378

Abstract

Irrigating agricultural lands remotely using automated irrigation systems can mitigate water and energy wastage, reducing it to a minimum. This study aims to design an agricultural irrigation system that operates by remotely opening and closing solenoid valves. The envisioned solenoid valve comprises a wireless microcontroller, a power circuit, and a basic valve mechanism. The remote and automated irrigation system can monitor and receive commands for the connected solenoid valves through web services and a web interface. After every operation executed by the system, interfaces displaying the real-time status or historical operational states of the controlled solenoid valves are presented to the users. This system is orchestrated using a web server operating on a cloud server, serving as the system control center. Solenoid valves positioned at ten different points are integrated, facilitating real-time and programmable use based on user requests. The system uses a secured website, accessed via user passwords, as a communication interface to receive irrigation control requests. It offers the capability for multiple users to control the system simultaneously through the same interface. Ultimately, this research seeks to establish a secure, remote, and automated irrigation system based on the control and scheduling of low-cost solenoid valves via a web page.

Keywords: “Remote irrigation system, solenoid valve, wireless microcontroller, web services, energy efficiency, automated irrigation.”

1. Introduction

The rapidly increasing global population necessitates the continuous evolution of the agricultural sector to meet nutritional needs[1]. Projections suggesting that Turkey's population will exceed 106 million by 2050 further amplify this imperative [2]. However, current global food production levels are not equipped to support this growth trajectory [3], [4]. Traditional agricultural methods, despite expansive farmlands, remain limited in enhancing productivity, leading to reduced crop yield [5], [6].

To overcome these challenges, there's an imperative to use water and energy resources in the agricultural sector more effectively and sustainably[7]. Remote and automated irrigation systems hold the potential to make water and energy usage in agricultural fields more efficient[8]. Especially in recent years, technological advancements have significantly reduced the installation and operational costs of such irrigation systems [9].

Internet connectivity today facilitates almost universal access to myriad information. Moreover, the rise of Internet of Things (IoT) technology has revolutionized many sectors, from smart homes to agricultural fields [10]. Particularly in agriculture, IoT holds significant potential to optimize irrigation processes.

When considering traditional irrigation methods, farmers are often confronted with a labor-intensive process that demands constant attention [11]. Not only is this time-consuming and exhausting, but it also escalates energy and water consumption. In contrast, automated irrigation systems ensure water is used in the right quantity, at the right time, and at the right location. Current market-available automated irrigation systems are typically high-cost and complex [12], posing challenges to farmer adoption.

¹ Corresponding Author
E-mail Address: mahmut.durgun@gop.edu.tr

This research focuses on the development of automated irrigation systems, underpinned by low-cost and energy-efficient solenoid valves. The establishment of such systems will guide water and energy usage in the agricultural sector towards a sustainable and efficient future. Additionally, this study aims to provide farmers with more effective irrigation management tools, contributing significantly to increased agricultural production and the preservation of natural resources.

2. Material Method

The study was conducted on an agricultural land located 35 km away on the Tokat-Turhal highway. This plot spans an area of 3,688 square meters and exhibits hillside characteristics with a 25% slope. An aerial view of the land can be accessed in Figure 1. The land encompasses 22 distinct sections. These sections cultivate a variety of agricultural produce including apple and peach trees, grapevines, and crops such as tomatoes and peppers. Historically, this area employed a flood irrigation technique.



Figure 1. Aerial view of the land

Located in the lower section of the land is a water pump with a power of 3 kW and a capacity of 4 HP, which fulfills its water requirements from underground sources. Constructed at the highest point of the land is a water reservoir with a capacity of 12 tons and dimensions of (5x5x1.2) meters.

Water is transferred from the pump to the reservoir through an irrigation pipe with a diameter of 63 mm. The distribution of water from the reservoir to ten different sections of the land is accomplished via an irrigation pipe with a diameter of 32 mm. Both electricity and water lines have been laid out to the irrigation site, upon which the developed irrigation system has been installed

2.1. Web of Things Architecture (WoT-TR)

In this study, the preference for web-based methods within the context of Internet of Things (IoT) technologies has been primarily addressed. While these methods frequently emerge in applications such as e-commerce and smart city implementations, they remain relatively unexplored in precision agriculture applications[13], [14]. In this context, a user-friendly, cost-effective, and easily learnable Web of Things (WoT) architecture has been designed. Due to the independently developed hardware and software components, this architecture has been designated as WoT-TR.

The WoT-TR architecture is conceptualized as a web-interface and cloud-based platform. The primary objective of this platform is to promote sustainable and efficient water usage in agricultural irrigation applications.

The architecture comprises the following core components:

Actuators: Employed in the agricultural field to control the irrigation system.

Network Connection: Facilitates communication and control of the actuators through wireless communication protocols.

Cloud Server: Provides a centralized platform where collected data is stored and processed. It also offers users access to data and the capability to control the system.

Web Interface: A user-friendly interface that enables users to access data and exercise control over the system.

2.2. Web of Things (WoT) Communication Protocol

The HyperText Transfer Protocol (HTTP) has been selected as the fundamental communication protocol for the WoT architecture. HTTP operates as a request-response-based communication protocol between the client and the server. The two most prevalent methods of this protocol are GET and POST. While GET is employed to request data from a specific resource, POST is utilized to create or update a resource. In this study, the statuses of the actuators are retrieved using the GET method, whereas notifications regarding the current status of the device are conveyed via POST.

GET Method: This method is employed to request data from a specific resource. In this study, the query string (actuator name) is sent in the URL through a GET request. For instance, the following URL is used: `http://www.*****.com/test/aktuator.php?aktuatorname=value1`. The response provided to this URL comprises a sequence like "1,1,0,1". This sequence symbolizes the status of the solenoid valves. A "1" indicates that the solenoid valve is open, while a "0" signifies its closed status. There are a total of four comma-separated values, allowing the control of four distinct solenoid valves from a single point.

POST Method: The POST method is utilized to create or update a resource. The data sent is housed in the body of the HTTP request. For example, the following URL is utilized:

POST `http://www.*****.com/test/demo_form.php` HTTP/1.1

`actuatorename=value1&valve1=1&valve2=1&valve3=1&valve4=1`

With the message sent via this URL, the "actuatorename" variable specifies which actuator's status will be notified. Information about which valves on the solenoid valve have had their statuses altered is conveyed through the "valve" variables. In this manner, information is simultaneously sent to four valves.

These two methods contribute to the effective and efficient execution of irrigation management and control.

2.3. Wireless Solenoid Valve Control Unit (WSVAU)

The WSVAU has been designed to address the water needs of agricultural fields and to regulate water distribution. This unit facilitates irrigation control using $\frac{3}{4}$ -inch solenoid valves. These valves typically operate with a 220 V AC voltage and offer a variety of output options. Core components of the WSVAU include a microcontroller with wireless communication capabilities, mini solid-state relays, and solenoid valves.

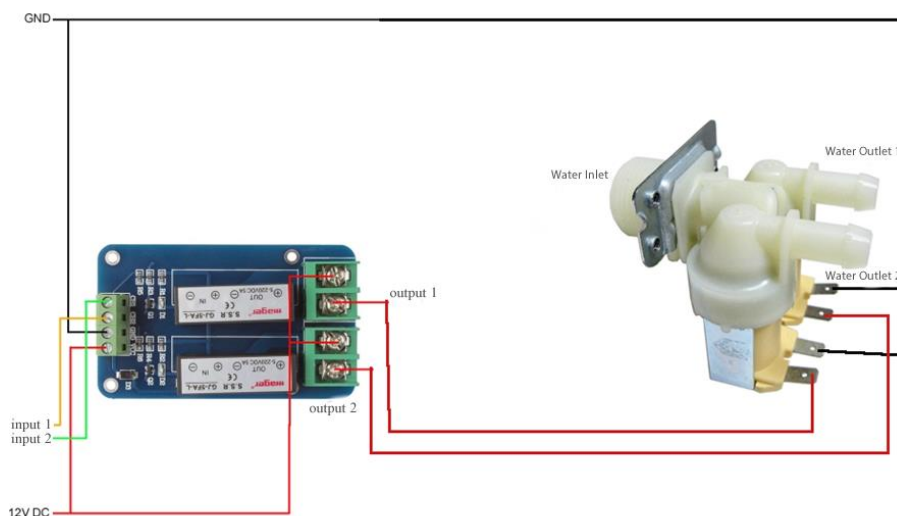


Figure 2: Wireless Solenoid Valve Control Unit (WSVAU)

2.4. Microcontroller Communication Software

This software operates on the ESP8266 microcontroller, enabling the device to connect to the internet. Additionally, it manages the device's state through HTTP GET and POST methods, reporting any necessary modifications. The software has been developed using the C++ programming language. As outlined in Algorithm 1, the system persistently monitors the actuator's status and makes requisite adjustments based on the retrieved status.

Algorithm 1: Monitoring and Controlling the Actuator

```
Function establishConnection(SSID: string, password: string) -> bool:
  // This function attempts to establish a connection to the given SSID using the provided password.
  // Returns true if connection is successful, false otherwise.

  try:
    connectToNetwork(SSID, password)
    return true
  except ConnectionError:
    return false

Function monitorAndControlActuator():
  // This function continuously monitors the actuator status via HTTP requests.
  // If any changes are detected in the actuator state, it sends an update using HTTP POST.

  while True:
    currentStatus = httpGetRequest(aktuator_url)

    // Control the actuator based on the retrieved status
    actuatorResponse = controlActuator(currentStatus)

    if actuatorResponse != currentStatus:
      httpPostRequest(aktuator_url, actuatorResponse)

// Main Execution
if establishConnection(mySSID, myPassword):
  monitorAndControlActuator()
else:
  print("Connection failed!")
```

2.5. User Interface Software

The user interface facilitates the operation and programming of the actuator node. It has been developed using HTML5, PHP, JS, and CSS. This interface is made compatible with the Bootstrap 3 CSS framework. Authorized users can access the device and modify its configuration. All changes are recorded in the database, with the latest entry reflecting the device's most recent state.

3. Results and Discussion

Based on the WoT-TR architecture, this study focuses on a real-time, programmable agricultural irrigation management system prioritizing energy and water efficiency. The developed system not only supports inter-object communication using HTTP protocols but also presents wireless solenoid valve control units (WSVAU) and a user-friendly web interface, simplifying the irrigation management of agricultural areas.

Throughout the research process, an integrated system for agricultural irrigation management has been established. This system contributes to energy and water savings, adding a valuable dimension to sustainability and efficiency standards in the agricultural sector. Constructed using HTTP protocols for the Web of Things (WoT), this model proposes a strategic approach for the effective management of water in agricultural areas, taking into account the direct relationship between crop diversity, growth, location, and quality with optimal water management.

In the experimental phase, data collected from each actuator node were analyzed. The web interface enables users to monitor irrigation zones in real-time and to plan their irrigation schedules using geographic mapping tools (Figure 3).

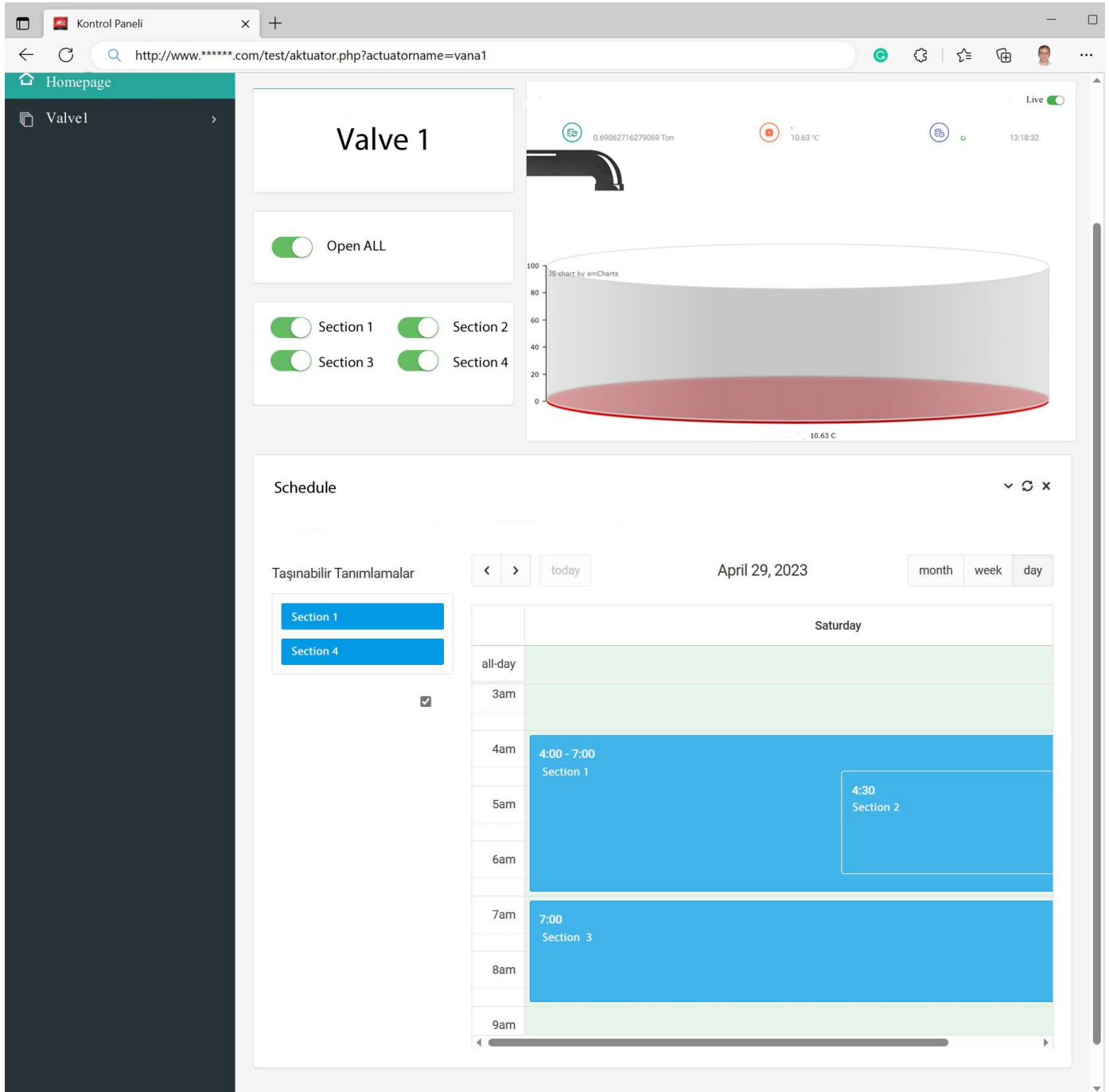


Figure 3 WoT-TR Web Architecture

The findings of this research are regarded as a significant step in optimizing agricultural irrigation management and limiting energy consumption. When compared with the literature, it is observed that this approach has the potential to ensure energy and water efficiency. From an economic perspective, the developed model appears to offer a more cost-effective solution compared to existing irrigation systems.

The integration of the user interface allows for the real-time adaptation of irrigation strategies and more conscientious use of water resources, representing a critical stride towards the sustainable management of global water resources.

In conclusion, this study presents a revolutionary step in agricultural irrigation management by enhancing energy and water efficiency. Future research is anticipated to focus on larger agricultural areas and different climatic conditions. The widespread adoption of the approach proposed by this study could positively influence global agricultural production and water management standards.

4. Conclusion

This study focuses on the development of a real-time and programmable system aimed at achieving energy and water savings in agricultural irrigation management. The results obtained point to a potential for significant increases in sustainability and efficiency within the agricultural sector, accompanied by reductions in energy and water consumption. Particularly, the success of the Web of Things (WoT) architecture in irrigation management paves the way for its broader adoption in agricultural irrigation applications. These findings possess the potential to shape and enhance the future of precision farming practices, offering the scientific community a valuable contribution towards the adoption of innovative and sustainable solutions in this domain. The system developed provides a framework for managing agricultural irrigation processes in a more economical, effective, and environmentally friendly manner. This not only contributes to the sustainable utilization of water resources but also elevates agricultural productivity. In summary, this research delivers a pivotal contribution to science on how modern technologies can be effectively integrated into agricultural irrigation management.

Authors' Contribution

Both authors contributed equally to the study.

Conflict of Interest Declaration

There is no conflict of interest between the authors.

Statement of Research and Publication Ethics

Research and publication ethics were complied with in the study.

References

- [1] N. K. Arora, "Impact of climate change on agriculture production and its sustainable solutions," *Environ. Sustain.*, vol. 2, no. 2, pp. 95–96, 2019.
- [2] R. Biswas and R. Biswas, "Demographic Trends in Emerging Markets," *Emerg. Mark. Megatrends*, pp. 1–21, 2018.
- [3] U. Mc Carthy, I. Uysal, R. Badia-Melis, S. Mercier, C. O'Donnell, and A. Ktenioudaki, "Global food security—Issues, challenges and technological solutions," *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 77, pp. 11–20, 2018.
- [4] J. R. Rohr *et al.*, "Emerging human infectious diseases and the links to global food production," *Nat. Sustain.*, vol. 2, no. 6, pp. 445–456, 2019.
- [5] M. A. Altieri and C. I. Nicholls, "The adaptation and mitigation potential of traditional agriculture in a changing climate," *Clim. Change*, vol. 140, pp. 33–45, 2017.
- [6] M. Durgun, "An Acoustic Bird Repellent System Leveraging Edge Computing and Machine Learning Technologies," in *2023 Innovations in Intelligent Systems and Applications Conference (ASYU)*, 2023, pp. 1–8.
- [7] L. Lipper, N. McCarthy, D. Zilberman, S. Asfaw, and G. Branca, *Climate smart agriculture: building resilience to climate change*. Springer Nature, 2017.
- [8] R. Koech and P. Langat, "Improving irrigation water use efficiency: A review of advances, challenges and opportunities in the Australian context," *Water*, vol. 10, no. 12, p. 1771, 2018.
- [9] T. Dickey, "Smart water solutions for smart cities," *Smart cities Appl. Technol. Stand. Driv. factors*, pp. 197–207, 2018.
- [10] S. Kumar, P. Tiwari, and M. Zymbler, "Internet of Things is a revolutionary approach for future technology enhancement: a review," *J. Big data*, vol. 6, no. 1, pp. 1–21, 2019.
- [11] S. Aggarwal and A. Kumar, "A smart irrigation system to automate irrigation process using IOT and artificial neural network," in *2019 2nd International Conference on Signal Processing and Communication (ICSPPC)*, 2019, pp. 310–314.
- [12] M. Aliyu, G. Hassan, S. A. Said, M. U. Siddiqui, A. T. Alawami, and I. M. Elamin, "A review of solar-powered water pumping systems," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 87, pp. 61–76, 2018.

- [13] Y. Durgun and İ. Karaman, “Web of Things Based User-Friendly Pulse Width Modulation Dimmable Intelligent Digital Led Driver,” in *2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (AICT)*, 2019, pp. 311–313.
- [14] P. Pauwels, S. Zhang, and Y.-C. Lee, “Semantic web technologies in AEC industry: A literature overview,” *Autom. Constr.*, vol. 73, pp. 145–165, 2017.

The Effect of Data Decomposition on Prediction Performance in Wind Speed Prediction with Artificial Neural Network

Serkan Şenkal ^{a,1}, Cem Emeksiz ^b

^a Mechatronics Engineering Department, Tokat Gaziosmanpaşa University, Tokat, Turkey
ORCID ID: 0000-0002-4571-3923

^b Electrical and Electronics Engineering, Tokat Gaziosmanpaşa University, Tokat, Turkey
ORCID ID: 0000-0002-4817-9607

Abstract

This study investigates the effect of data decomposition to improve the performance of artificial neural networks (ANNs), widely used in wind speed forecasting in the wind energy sector. Artificial neural networks are essential tools for planning and optimizing the daily generation of wind power plants. However, prediction errors can lead to significant problems in power generation and energy grid management. The results show that data decomposition substantially affects the wind speed forecasting performance of neural networks. These findings are essential for researchers and industry professionals interested in developing more accurate forecasting models for power generation planning and management in the wind energy sector. By integrating artificial neural networks and data disaggregation methods, the study stands out as an essential step forward to improve the accuracy of wind speed forecasts and optimize the efficiency of wind energy facilities.

Keywords: “Wind speed estimation, artificial neural networks, data decomposition.”

1. Giriş

Rüzgar enerjisi endüstrisinde, doğru rüzgar hızı tahmini, rüzgar enerjisi üretiminin tahmini ve bir türbinin enerji üretim verimliliğinin değerlendirilmesi için çok önemlidir [1]. Rüzgar enerjisi üretimi sadece rüzgar hızına değil, aynı zamanda rüzgar türbini jeneratör kapasitesinin özelliklerine de bağlıdır; bu nedenle, rüzgar kaynağı analizine güç eğrilerini ve jeneratör kapasitesini dahil etmek esastır [4]. Rüzgar hızının mevsimsel değişimi, rüzgar enerjisi tedarik programının tutarlılığı ile ilgili olarak rüzgar türbinlerinin kullanımının verimliliği hakkında temel bilgiler sağladığından, rüzgar potansiyelinin tahmin edilmesi için önemlidir [2]. Ayrıca, aşırı rüzgar hızları, kuleler ve kanatlar gibi rüzgar türbinlerinin hassas bileşenlerine zarar verebileceğinden, rüzgar hızının rastlantısallığı rüzgar enerjisi sistemlerinin mekanik güvenilirliği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir [3].

Ayrıca, enerji yönetim sistemlerinin enerji arz ve talebini yönetebilmesi için rüzgar hızı tahmini gereklidir [1]. Rüzgar hızı tahmini, enerji arzı ile enerji talebinin koordine edilmesine yardımcı olarak verimli enerji yönetimi sağlar. Buna ek olarak, farklı rüzgar türbinleri farklı rüzgar giriş hızına, rüzgar nominal hızına ve rüzgar çıkış hızına sahiptir. Bu nedenle, sahanın rüzgar hızı profiline bağlı olarak uygun rüzgar türbinlerinin seçilmesi gerekir [9].

Yıllık ortalama rüzgar hızı tahminlerini etkileyen eksik rüzgar verilerindeki ve kısa kayıtlardaki hatalar ve belirsizlikler, ortalama rüzgar hızı ve bir rüzgar türbininden enerji üretiminin aylık ve yıllık tahminlerini önemli ölçüde etkileyebilir ve böylece rüzgar enerjisi kaynak değerlendirmelerinde belirsizliğe katkıda bulunabilir [10]. İklim değişikliği bağlamında, aşırı rüzgarların rüzgar enerjisi kullanılabilirliğini nasıl etkilediğini anlamak önemlidir ve araştırma çalışmaları, yüksek ve düşük aşırı rüzgar olaylarının sıklığında önemli değişiklikler olduğunu göstermiştir, bu da iklim değişikliğinin veya uzun vadeli iklim değişikliğinin açık deniz rüzgar enerjisi üretimini zaten etkilediğini kanıtlamaktadır [6][8].

Özetle, doğru rüzgar hızı tahmini, verimli enerji yönetimi sağladığı, rüzgar türbinlerinin kullanım verimliliği hakkında temel bilgiler sağladığı ve rüzgar enerjisi üretiminin karlılığını belirlediği için rüzgar enerjisi endüstrisinde kritik öneme sahiptir. Rüzgar hızı tahmini, rüzgar türbini verimliliğini etkileyebilecek rüzgar yönü, hava yoğunluğu, nem, türbülans yoğunluğu ve rüzgar makasları gibi çevresel faktörlere duyarlıdır ve doğru rüzgar enerjisi üretim tahmini için rüzgar gücü eğrisi modellerinde dikkate alınmalıdır [1].

¹ Corresponding Author

E-mail Address: serkan.senkal@gop.edu.tr

Bu çalışmada, meteorolojik veriler (basınç, sıcaklık, nem) kullanılarak yapay sinir ağı ile rüzgar hızı tahminlemesi yapılacaktır. Amacımız, yapay sinir ağının giriş verileri üzerinde yapılacak veri ayrıştırması işlemi ile daha basit, anlamlı ve işlenebilir hale getirilmiş veriler kullanarak yapılan tahminlemelerin sonuçlarını incelemek, ham veri kullanımı ile ayrıştırılmış veri kullanımı arasında yapay sinir ağının rüzgar hızı tahmin performansını karşılaştırmaktır. Karmaşık yapıların modellenmesi, büyük veri setlerini işleme yetenekleri ve non-linear ilişkileri öğrenme kabiliyetleri sayesinde öne çıkan yapay sinir ağlarının daha etkili tahminlemeler yapabilmesi için önerebileceğimiz olası yöntemler en büyük motivasyonumuzdur.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Veri Toplama Aracı

Bu çalışmada kullanılan meteorolojik veriler, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Taşlıçiftlik kampüsü içerisinde (N40°19'58.73") enlem ve (E36°29'0.28") boylam koordinatlarında bulunan meteorolojik ölçüm istasyonundan alınan 2020 yılına ait rüzgar hızı, basınç, sıcaklık ve nem verileridir. İlgili yıla ait ayların ilk günleri için, 10'ar dakika çözünürlüklü olacak şekilde, her bir veri grubu için bir haftalık (1008 adet) olacak şekilde gruplandırılmıştır. Oluşturulan veri grupları, Yapay Sinir Ağı (YSA) girişleri için kullanılacak veri setlerinin temelini oluşturmuştur.

2.2. Veri Setlerinin Oluşturulması

Veri normalizasyonu bilgisayar bilimleri, mühendislik ve tıp gibi çeşitli alanlarda kullanılan temel bir ön işleme adıdır. Normalleştirme, farklı özelliklerin veya değişkenlerin benzer bir ölçekte olmasını sağlamak için çok önemlidir; bu da birçok makine öğrenimi algoritmasının optimum performansı için gereklidir. Örneğin, doğrusal sınıflandırıcıların, özellikle de Destek Vektör Makinelerinin (DVM'ler), verilerin normalleştirilmesine duyarlı olduğu bilinmektedir; DVM'ler, iç çarpımı kosinüs benzerliği ile hizaladığı için normalleştirmeden yararlanma eğilimindedir [11]. Ağrı tanıma yönelik fizyolojik sinyaller bağlamında, verileri belirli bir aralığa dönüştürmek için min-max normalleştirme kullanılır ve bu da belirli analizler için faydalı olan orijinal dağılımın korunmasına izin verir [12]. Ayrıca, yapı mühendisliğinde normalleştirme, özellikle farklı sensör türlerinden ölçümler içeren veri kümeleriyle uğraşırken önemlidir, çünkü farklı kaynaklardan gelen verilerin tutarlı bir ölçekte olmasını sağlar [13]. Ayrıca, tıbbi görüntüleme için özellik seçimi alanında, özellikleri standartlaştırmak için z-skor normalizasyonu kullanılır ve belirli analitik teknikler için gerekli olan 0 ortalama ve 1 standart sapmaya sahip olmalarını sağlar [14]. Bu nedenle, veri normalizasyonu çeşitli alanlarda kritik bir rol oynamakta, verilerin tutarlı bir ölçek ve dağılımda olmasını sağlayarak analitik ve makine öğrenimi yöntemlerinin etkili bir şekilde uygulanmasını sağlamakta, böylece sonuçların doğruluğunu ve yorumlanabilirliğini artırmaktadır.

Yapay sinir ağlarında, ağ giriş ve çıkışlarına belirli ön işlem adımları uygulayarak yapay sinir ağına sunulan verilerin eğitimi daha verimli hale getirilebilir. Ağ giriş işlem fonksiyonları, ağ kullanımını daha iyi bir forma dönüştürür. Normalleştirme işlemi ham verilere uygulanarak ve bu verilerin eğitim için uygun veri setinin hazırlanmasına etkisi vardır. Veri normalleştirme alanında, verileri ölçeklendirme ve belirli bir aralığa dönüştürme işlemi, veri ön işlemede çok önemli bir adımdır. Verilerin 0,1 ile 0,9 arasında normalleştirilmesi, çeşitli veri analizi ve makine öğrenimi görevlerinde yaygın bir gerekliliktir. Bu normalleştirmeyi gerçekleştirmek ve verilerin belirtilen aralıkta kalmasını sağlamak için çeşitli yöntemler kullanılabilir.

Verileri 0,1 ile 0,9 arasında normalleştirmeye yönelik yaklaşımlardan biri min-maks ölçeklendirmesidir. Bu yöntem, verilerin veri kümesindeki minimum ve maksimum değerlere göre ölçeklendirilmesini içerir. Min-maks ölçeklendirme formülü şu şekilde verilir:

$$x' = 0,8 * \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} + 0,1 \quad (1)$$

Bu eşitlikte;

x' ; Normalize edilmiş veriyi,

x_i ; Girdi değerini,

x_{min} ; Girdi seti içerisinde yer alan en küçük sayıyı,

x_{max} ; Girdi seti içerisinde yer alan en büyük sayıyı, ifade etmektedir.

İstenen 0,1 ile 0,9 aralığını elde etmek için hem min-max ölçeklendirmenin hem de z-skor normalleştirmenin kullanılabilmesini belirtmek önemlidir. Bununla birlikte, yöntem seçimi veri kümesinin belirli özelliklerine ve analizin gerekliliklerine bağlı olabilir.

Sonuç olarak, 0,1 ile 0,9 arasındaki verilerin normalleştirilmesi min-max ölçekleme ve z-skor normalleştirme gibi çeşitli yöntemlerle gerçekleştirilebilir. Bu teknikler, verilerin analiz ve modelleme için hazırlanmasında önemli bir rol oynar ve verilerin anlamlı bilgilerini korurken belirtilen aralıkta kalmasını sağlar. Tahminciye giriş verisini sağlayacak olan basınç, sıcaklık ve nem verileri, yukarıda verilen denklem ile 0,1 ile 0,9 arasında normalize edilmiştir. Ayırıştırma işlemi kullanılan yapılarda ise veriler önce ayırıştırma işlemine tabi tutulmuş, sonrasında tahminciye giriş yapılmadan 0,1 ile 0,9 arasında normalizasyon işlemi uygulanmıştır.

2.3. Yapay Sinir Ağları (YSA)

Yapay sinir ağlarının (YSA) tarihi, çeşitli alanlara yayılan uygulamalarla zengin ve çeşitlidir. YSA'lar diş hekimliği, tıp, jeoloji, emlak, ulaşım altyapısı ve daha birçok alanda kullanılmıştır [15] [16] [17] [18] [19]. YSA kavramı, 1943 yılında yapay bir nöronun ilk resmi modelini sunan Warren McCulloch ve Walter Pitts'in çalışmalarına dayanmaktadır [17]. Zaman içinde YSA'lar, yenilikçi teknolojik çözümlerin uygulanmasında, karmaşık sistemlerin yönetilmesinde, sesli mesajların işlenmesinde ve ekonomi, finans ve sağlık hizmetlerinde yaygın olarak kullanılan en çok talep edilen bilgi işleme araçlarından biri haline gelmiştir [17]. YSA'ların gelişimi, evrensel yaklaşım problemlerinin çözümünde de önemli ilerlemeler kaydetmiştir [20].

Tıp alanında, YSA'lar demografik verileri kullanarak kanser hastalıklarını teşhis etmek ve sayısallaştırılmış göğüs radyografilerinde bulunan akciğer nodüllerinin tespiti için düşük çözünürlüklü görüntülerde şüpheli bölgeleri tespit etmek için kullanılmıştır [21]. Ayrıca, YSA'lar deprem zaman geçmişine dayalı olarak betonarme binaların hasar seviyesini tahmin etmede kullanılmış ve mimarlık mühendisliğindeki çok yönlülüklerini göstermiştir [22].

Jeoloji alanında, YSA'lar jeomekanik özelliklerin yapay olarak akıllı ve öngörücü bir şekilde modellenmesi için kullanılmış ve Bakken Formasyonu için sentetik jeomekanik kuyu loglarının oluşturulmasını sağlamıştır [16]. Ayrıca, YSA'lar yanal yayılma vaka geçmişlerine dayalı olarak artık kayma mukavemeti oranının tahmin edilmesinde kullanılmış ve sıvılaşma kaynaklı yanal yayılmanın değerlendirilmesindeki uygulamalarını göstermiştir [23].

Ayrıca, YSA'lar, gayrimenkul mülklerinin toplu değerlemesinde kullanılmalarıyla, iş ve değerlendirme süreçlerindeki önemlerini vurgulayarak gayrimenkul alanında uygulamalar bulmuştur [18]. Ulaşım sektöründe YSA'lar, özellikle bakım süreçlerinde ulaşım altyapı sistemlerinin optimize edilmesinde etkili olmuştur [19].

YSA'ların tarihsel gelişimi, genetik algoritmalar kullanarak sinir ağlarının yapay evrimini içeren ve karmaşık takviyeli öğrenme görevlerinde umut vaat eden nöroevrimin ortaya çıkışına da tanık olmuştur [24]. Ek olarak, YSA'ların evrimsel algoritmalarla kombinasyonu, sinir ağlarının öğrenme gücünü ve evrimsel algoritmaların uyarlanabilir yeteneklerini kullanan Evrimsel Yapay Sinir Ağlarının (EANN) geliştirilmesine yol açmıştır [25].

Sonuç olarak, YSA'ların tarihi, McCulloch ve Pitts'in temel çalışmalarından, karmaşık problemlerin çözümünde uyarlanabilirliklerini ve faydalarını gösteren çeşitli alanlardaki yaygın uygulamalarına kadar evrimleriyle karakterize edilir.

Rüzgar hızını tahmin etmek için çeşitli çalışmalarda dalgacık paket ayırıştırması, çoklu çözünürlük analizi, ikincil ayırıştırma algoritması ve fraktal gösterim gibi farklı tekniklerle birlikte yapay sinir ağları (YSA) kullanılmıştır. Bu çalışmalar YSA'ların rüzgar hızı tahminindeki etkinliğini göstermiştir [26] - [45]. Örneğin, [26] ve [27] rüzgar hızı tahmini için YSA'larla birlikte dalgacık ve çoklu çözünürlük analizi kullanmıştır. Ayrıca, Tian ve arkadaşları, rüzgâr hızı tahmini için Elman sinir ağları ile ikincil bir ayırıştırma algoritması kullanmıştır [28]. Ayrıca, D. Petković ve arkadaşları, fraktal enterpolasyona dayalı YSA'lar ve farklı eğitim algoritmaları kullanarak rüzgar hızı dalgalanmasını tahmin etmiştir [32]. Bu çalışmalar, YSA'ların rüzgar hızı tahminindeki çeşitli uygulamalarını toplu olarak vurgulamakta ve çeşitli metodolojilere ve algoritmalara uyarlanabilirliklerini göstermektedir.

Ayrıca, rüzgar hızı tahmini için uzun kısa süreli bellek (LSTM, Long Short-Term Memory), tek boyutlu evrimli sinir ağı (1D-CNN, One Dimensional Convolutional Neural Networks) ve karmaşık değerli sinir ağı (CVNN, Complex-Valued Neural Network) gibi gelişmiş YSA modellerinin kullanımı önerilmiştir [38] [39]. Örneğin, Fukuoka ve arkadaşları, LSTM ve 1D-CNN kullanarak bir rüzgar hızı tahmin modeli önermiş ve rüzgar hızı verilerinin karmaşıklığını yakalamada gelişmiş YSA mimarilerinin potansiyelini göstermiştir [39]. Ayrıca, Komamizu ve arkadaşları, CVNN kullanarak rüzgar enerjisi üretimi için bir tahmin sistemi sunmuş ve YSA'ların yenilenebilir enerji tahminindeki uygulamasını daha da genişletmiştir [38].

Ayrıca, YSA'ların kısa vadeli rüzgar hızı tahminindeki etkinliği çeşitli çalışmalarda vurgulanmıştır [34] [41]. Önerilen bir sinir ağı modeli kullanılarak rüzgar hızının gerçek zamanlı olarak başarılı bir şekilde tahmin edildiğini göstermiştir [34]. Benzer şekilde, Kumar ve arkadaşları, YSA modellerinin hassas kısa vadeli rüzgar hızı tahmini için duyarlılığını vurgulamıştır [41].

Sonuç olarak, literatür, YSA'ların rüzgar hızı tahminindeki uygulamalarının kapsamlı bir incelemesini sunmakta, farklı metodolojiler ve algoritmalarla entegre olma konusundaki çok yönlülüklerini ve rüzgar hızı verilerinin karmaşıklıklarını yakalama potansiyellerini göstermektedir.

2.4. Veri Ayırıştırma

Veri ayırıştırma, karmaşık verileri daha basit ve yönetilebilir bileşenlere ayıran bir tekniktir. Verileri, daha sonra bağımsız olarak analiz edilebilecek veya işlenebilecek kurucu parçalara veya alt gruplara ayırmayı içerir. Veri ayırıştırma, sayısal, sinyal ve hatta metinsel veriler dahil olmak üzere çeşitli veri türlerine uygulanabilir.

Veri ayırıştırmanın yaygın uygulamalarından biri sinyal işlemedir. Sinyal işlemede, çok boyutlu sinyallerden anlamlı bilgiler çıkarmak için tensör ayırıştırma gibi veri ayırıştırma teknikleri kullanılır [46]. Tensör ayırıştırma, kanonik korelasyon ve alt uzay teknikleri, sinyal ayırma, doğrusal regresyon, özellik çıkarma ve sınıflandırma gibi yaygın olarak kullanılan sinyal işleme tekniklerinin geliştirilmesini sağlar [46]. Sinyalin kendisini oluşturan bileşenlere ayırıştırılması, verilerin analiz edilmesini ve yorumlanmasını kolaylaştırır.

Veri ayırıştırma, aykırı değer tespitinde de kullanılmaktadır. Bu bağlamda veri, K-ortalama kümeleme gibi kümeleme algoritmaları kullanılarak alt gruplara ayırıştırılır [47]. Olası aykırı değerler, verilerin homojen alt gruplara ayırıştırılmasıyla izole edilebilir ve tespit edilebilir. Bu ayırıştırma yaklaşımı, veri örüntülerinin karmaşıklığını azaltmaya yardımcı olur ve aykırı değer tespitinin doğruluğunu artırır [47].

Veri ayırıştırmanın bir başka uygulaması da veri analizi ve kümelemedir. Çok boyutlu ayırıştırma, Tucker ayırıştırması ve yüksek dereceli tekil değer ayırıştırması gibi farklı kümeleme yöntemleri, verilerdeki örüntüleri ve yapıları tanımlamak için veri ayırıştırmasına dayanır [48]. Bu yöntemler, verileri çekirdek tensörlere ve eş matrislere ayırıştırarak büyük veri kümelerini etkili bir şekilde analiz edebilir ve kümeleyebilir [48].

Veri ayırıştırma, hesaplamalı akışkanlar dinamiği ve görüntü işlemede de kullanılmaktadır. Hesaplamalı akışkanlar dinamiğinde, akışkan akış modellerini analiz etmek ve modellemek için Uygun Ortogonal Ayırıştırma (POD, Proper Orthogonal Decomposition) gibi veri ayırıştırma teknikleri kullanılır [49]. Görüntü işlemede, veri ayırıştırma yöntemleri dört kutuplu verilerdeki farklı saçılma katkılarını ayırır [50].

Genel olarak, veri ayırıştırma karmaşık verileri basitleştirmek ve analiz, işleme ve yorumlamayı kolaylaştırmak için yapılır. Veriyi kendisini oluşturan bileşenlere veya alt gruplara ayırmak, veri içindeki örüntüleri, aykırı değerleri ve yapıları belirlemeyi kolaylaştırır. Veri ayırıştırma teknikleri, sinyal işleme, aykırı değer tespiti, veri analizi ve görüntü işleme gibi çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.4.1. Ampirik Mod Ayırıştırma (EMD, Empirical Mode Decomposition)

Ampirik Mod Ayırıştırma (EMD), durağan olmayan sinyal işlemede yaygın olarak kullanılan bir sinyal ayırıştırma yöntemidir [51]. Yöntem, verilen bir sinyali bir dizi İçsel Mod Fonksiyonuna (IMF, Intrinsic Mode Function) ayırıştırır [52], bu da özellikleri çıkarmak ve farklı alanlardaki hataları tespit etmek için daha fazla işlenebilir. Bununla birlikte, EMD yöntemi çeşitli sorunlarla ilişkilidir. İlk sorun, birden fazla frekans bileşeni tek bir IMF'ye karıştığında ortaya çıkan mod karışımıdır. İkinci sorun ise yüksek frekans aralığında ortaya çıkabilen artık gürültüdür [54]. Bu sorunları çözmek için EMD'nin farklı versiyonları önerilmiştir. Popüler versiyonlardan biri, ayırıştırma öncesi sinyale beyaz gürültü ekleyen Topluluk Ampirik Mod Ayırıştırması (EEMD, Ensemble Empirical Mode Decomposition)'dır [52][57]. EMD'nin bir başka versiyonu ise sinyali çift ve tek simetri bileşenlerine ayıran ve her biri EEMD tarafından bağımsız olarak ele alınan Tamamlayıcı EEMD'dir (CEEMD, Complementary Ensemble Empirical Mode Decomposition) [52]. Uyarlanabilir Gürültülü Tam EEMD (CEEMDAN, Complete Ensemble Empirical Mode Decomposition with Adaptive Noise), ayırıştırma öncesi sinyale uyarlanabilir şekilde beyaz gürültü ekleyen EMD tabanlı başka bir algoritmadır [52].

Ayrıca, EMD'nin farklı modifiye edilmiş versiyonları da önerilmiştir. Bunlardan biri, hasar yataklarının özelliklerini temsil eden en uygun IMF'leri seçmek için ağgözlü bir algoritma kullanan Çabuk Ampirik Mod Ayırıştırma (GEMD, Greedy Empirical Mode Decomposition)'dır [55]. EMD'nin bir başka değiştirilmiş versiyonu, gemi yayılan gürültü sinyalinin yüksek frekanslı gürültüsünü etkili bir şekilde bastırmak için aralık eşikleme ve dağılım entropisini içeren Modifiye CEEMDAN'dır [52].

EMD ayrıca farklı sinyallerin özelliklerini çıkarmak için de kullanılır. EMD, Epilepsi Elektroensefalogram (EEG) sinyal işlemede, sinyallerinin istatistiksel özelliklerini çıkarmak için kullanılır [53][60]. Sismik veri işlemede, EMD gibi ayırıştırma tabanlı yöntemler, gürültülü sismik verilerin bir dizi bileşene ayırıştırıldığı gürültü bastırma için yaygın olarak kullanılır [58]. EMD aynı zamanda gürültülü kaotik sinyali katkı gürültüsü üzerinde gürültü etkisini azaltmak için geçerli bir yöntem sağlar [54]. Güç Kalitesi Bozukluğu tanımlamasında, güç kalitesi bozukluğunu tespit etmek için EEMD ve Teager Enerji Operatörü'nden (TEO, Teager Energy Operator) elde edilen anlık genlik ve frekans kullanılır [57]. Ek olarak, EMD, Elektrokardiyografi (EKG) sinyal işleme için sahada programlanabilir kapı dizisi (FPGA, Field Programmable Gate Array) uygulamalarını geliştirmek için kullanılır [56]. Son olarak, EMD ve EEMD ve Yerel Ortalama Ayırıştırma (LMD, Local Mean Decomposition) gibi uzantıları, kızak fide toplama mekanizması hata tanımlaması için BP-AdaBoost optimizasyon algoritmalarına entegre edilmiştir [59].

Sonuç olarak EMD, durağan olmayan sinyalleri IMF'lere ayırtmak için kullanılabilen uyarlanabilir bir sinyal işleme yöntemidir. EEMD ve CEEMDAN dahil olmak üzere EMD'nin çeşitli versiyonları, mod karıştırma ve artık gürültü ile ilgili sorunları çözmek için önerilmiştir. GEMD ve Modifiye CEEMDAN gibi EMD'nin modifiye edilmiş versiyonları, gürültü bastırma ve yüksek frekanslı gürültü giderme için diğer etkili yöntemlerdir. EMD ayrıca epilepsi EEG sinyalleri, sismik veri işleme, kaotik sinyal denoising ve güç kalitesi bozukluğu tanımlama gibi çeşitli alanlarda özellik çıkarma ve teşhis için de kullanılır. Bu çalışmada, Ampirik Mod Ayırıştırma yöntemi türevlerinden popüler olan EEMD ve CEEMDAN yöntemleri, çalışmamızın uygulama kısmında kullanılan veri ayırıştırma metodlarından ikisini teşkil etmektedir.

2.4.2. Yerel Ortalama Ayırıştırma (LMD, Local Mean Decomposition)

Yerel ortalama ayırıştırma (LMD), bir sinyali yerel ortalama bileşenlerine ayırıştırıran bir sinyal işleme yöntemidir [2]. İklim verileri [61], rüzgar hızı verileri [62], titreşim sinyalleri [63], arıza teşhisi [64][66]-[70], dalga denklemleri [65] ve maliyet zaman serisi verileri [69] dahil olmak üzere çeşitli sinyal türlerini analiz etmek ve işlemek için kullanılan bir tekniktir.

LMD genellikle ampirik mod ayırıştırmasına (EMD) alternatif olarak kullanılır [64][66]-[70]. EMD, mod karıştırma ve zarf hataları gibi sınırlamalardan muzdaripken, LMD bu sorunların üstesinden gelir ve arıza teşhisi ve sinyal ayırıştırma açısından daha iyi performans sağlar [66][68]. LMD daha az uç etkisi, daha az iterasyon ve daha doğru sonuçlar gibi avantajlara sahiptir [66].

LMD süreci, yerel ortalamanın orijinal sinyalden iteratif olarak çıkarılmasıyla bir sinyalin yerel ortalama bileşenlerine ayırıştırılmasını içerir [66]. Bu ayırıştırma, farklı frekans bileşenlerinin çıkarılmasına ve sinyaldeki varyasyona katkıda bulunan yerel ölçekli faktörlerin analiz edilmesine olanak tanır [61]. Ahşap ayırıştırma durumunda, LMD yerel ölçekli faktörlerin varyasyonun önemli bir kısmını açıkladığını, iklim faktörlerinin ise sadece daha küçük bir kısmını açıkladığını ortaya koymuştur [61].

LMD, rüzgar hızı tahmini [62], mekanik arıza teşhisi [63][64][66]-[68][70], dalga denklemi çözme [65] ve maliyet tahmini [69] gibi çeşitli alanlarda uygulanmıştır. Rüzgar hızı tahmininde LMD, durağan olmamanın tahmin sonuçları üzerindeki etkisini azaltmak için bir veri ön işleme yöntemi olarak kullanılır [62]. Mekanik arıza teşhisinde, LMD titreşim sinyallerini analiz etmek ve arıza özellik bilgilerini çıkarmak için kullanılır [63][64][66]-[68][70]. Dalga denklemi çözümünde LMD, yerel kesirli dalga denklemlerini çözmek için bir ayırıştırma yöntemi olarak kullanılır [65]. Maliyet tahmininde, LMD maliyet zaman serisi verilerini tahmin için bileşenlere ayırmak için kullanılır [69].

Genel olarak LMD, bir sinyali yerel ortalama bileşenlerine ayıran, yerel ölçekli faktörlerin analizine ve farklı frekans bileşenlerinin çıkarılmasına olanak tanıyan bir sinyal işleme yöntemidir. İklim analizi, rüzgar hızı tahmini, mekanik arıza teşhisi, dalga denklemi çözme ve maliyet tahmini gibi çeşitli alanlarda uygulanmıştır. LMD, Ampirik Mod Ayırıştırma ve Varyasyonel Mod Ayırıştırma gibi ayırıştırma yöntemlerine göre doğruluk ve performans açısından avantajlar sunmaktadır.

2.4.3. Varyasyonel Mod Ayırıştırma (VMD, Variational Mode Decomposition)

Varyasyonel mod ayırıştırma (VMD), verilen bir sinyali birkaç anlamlı moda ayırştırmayı amaçlayan bir sinyal ayırıştırma yöntemidir [71]. Dragomiretskiy ve Zosso tarafından 2014 yılında önerilmiştir [75]. VMD, ampirik mod ayırıştırma (EMD) algoritmasının bir geliştirmesidir ve tam matematiksel prensiplere dayanmaktadır [77].

VMD algoritması bir sinyali bant sınırlı alt sinyaller veya modlar topluluğuna ayırıştırır [75]. Her mod, sınırlı bant genişliği ve daha az spektral örtüşme ile kendi frekansı etrafında merkezlenir [76]. Ayırıştırma, belirli bant genişliği fonksiyonlarına sahip birkaç mod elde etmek için modal fonksiyonu ve merkez frekansı sürekli güncelleyerek, varyasyonel modun optimal çözümünü iteratif olarak arayarak elde edilir [77].

VMD, arıza teşhisi, sinyal analizi ve özellik çıkarımı dahil olmak üzere çeşitli alanlarda uygulanmıştır. Örneğin, yapısal sağlık izlemede, rulmanlı yatakların arıza teşhisinde ve yüksek gerilim devre kesicilerinin arıza teşhisi için kullanılmıştır [73][74]. Astronomi ve astrofizik alanında VMD, güneş atmosferindeki rastgele süreçlerin analizi için kullanılmıştır [72]. Biyomedikal mühendisliği alanında VMD, elektromiyografi (EMG) sinyallerine dayalı el hareketi tanıma için kullanılmıştır [76].

Diğer sinyal ayırıştırma yöntemleriyle karşılaştırıldığında VMD'nin çeşitli avantajları vardır. Uyarlanabilir ve özyinelemesizdir, sinyallerin sonlu sayıda içsel modal bileşene ayırıştırılmasına izin verir [78]. VMD ayrıca iyi bir gürültü sağlamlığına sahiptir ve karmaşık bileşenlere sahip durağan olmayan sinyalleri etkili bir şekilde işleyebilir [79]. Ampirik mod ayırıştırması gibi diğer yöntemlere kıyasla daha iyi doğruluğa ve daha yüksek verimliliğe sahip olduğu gösterilmiştir [73].

Özetle, VMD, verilen bir sinyali birkaç anlamlı moda ayırştıran bir sinyal ayırıştırma yöntemidir. EMD algoritmasının bir geliştirmesidir ve arıza teşhisi, sinyal analizi ve özellik çıkarımı için çeşitli alanlarda uygulanmıştır. VMD, uyarlanabilirlik, tekrarsızlık ve iyi gürültü sağlamlığı gibi avantajlara sahiptir. Karmaşık bileşenlere sahip durağan olmayan sinyallerin işlenmesinde etkili olduğu gösterilmiştir.

3. Uygulama

2020 yılına ait meteorolojik veriler kullanılarak oluşturulan veri setlerinden, mevsimsel farklılıkları gözlemleyebilmek için Ocak, Nisan, Temmuz ve Ekim ayları uygulama için seçilmiştir. Bu ayların ilk haftalarına ait 10 dakika çözünürlüklü verilerden 1008 adet olacak şekilde seçilen veri setleri, ilgili ayların ilk günlerine ait 40m yükseklikteki rüzgar hızlarının 10 dakika aralıkla 24 saat boyunca (144 tahmin noktası için) tahminlemesi için kullanılmıştır.

Bir X zaman noktası için geriye doğru 6 adet (1 saatlik) basınç, sıcaklık ve nem verisi ve X zaman noktasının rüzgar hızı verisi ile eğitilen sinir ağı, basınç, sıcaklık ve nem verisinin 1 adım (10 dakika ileriye) ötelenmesi ile elde edilen giriş verisinin sinir ağına uygulanması ile X+1 zaman noktasına ait rüzgar hızının tahminlenmiştir. Bu işlem 144 kez tekrarlanarak 24 saatlik tahmin verisi elde edilmiştir.

Yukarıda belirtilen tahmin yöntemi ile elde edilen veriler, basınç, sıcaklık ve nem verisinin CEEMDAN, EEMD, LMD ve VMD yöntemleri ayrı ayrı ayrıştırılması ile elde edilen verilerin yine aynı yöntem kullanılarak yapılan 24 saat periyotlu tahminlerin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Performans kriteri olarak Karesel Ortalama Hata (MSE, Mean Square Error) ve Hataların Karesinin Ortalamasının Karekökü (RMSE, Root Mean Squared Error) değerleri kullanılmıştır.

Sinir ağı yapısından klasik sinir ağı aktivasyon fonksiyonları olan tanjant sigmoid (TANSIG, Tangent sigmoid function), logaritmik sigmoid (LOGSIG, Log-Sigmoid function) ve (PURELIN, Linear function) kullanılmış, sinir ağı mimarisinden (4 + 2) olacak şekilde iki gizli katmanlı 6 nöronlu mimari tercih edilmiştir. Tüm uygulamalarda mimari yapı değiştirilmeden kullanılmıştır. Nöron aktivasyon fonksiyonları da tek tip olacak şekilde seçilmiştir.

4. Bulgular

Tablo 1. 1 Ocak 2020 tarihi için 40m yükseklikteki rüzgar hızı tahminleri hata oranları.

| Aktivasyon Fonksiyonu | Veri Ayrıştırmasız | | CEEMDAN | | EEMD | | LMD | | VMD | |
|-----------------------|--------------------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | MSE | RMSE | MSE | RMSE | MSE | RMSE | MSE | RMSE | MSE | RMSE |
| LOGSIG | 0.0115 | 0.1070 | 0.0074 | 0.0859 | 0.0077 | 0.0878 | 0.0076 | 0.0873 | 0.0063 | 0.0795 |
| PURELIN | 0.0995 | 0.3155 | 0.0203 | 0.1424 | 0.0251 | 0.1584 | 0.0462 | 0.2149 | 0.0106 | 0.1028 |
| TANSIG | 0.0104 | 0.1021 | 0.0049 | 0.0698 | 0.0083 | 0.0914 | 0.0067 | 0.0819 | 0.0077 | 0.0875 |

Tablo 2. 1 Nisan 2020 tarihi için 40m yükseklikteki rüzgar hızı tahminleri hata oranları.

| Aktivasyon Fonksiyonu | Veri Ayrıştırmasız | | CEEMDAN | | EEMD | | LMD | | VMD | |
|-----------------------|--------------------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | MSE | RMSE | MSE | RMSE | MSE | RMSE | MSE | RMSE | MSE | RMSE |
| LOGSIG | 0.0133 | 0.1154 | 0.0081 | 0.0897 | 0.0121 | 0.1099 | 0.0089 | 0.0944 | 0.0080 | 0.0896 |
| PURELIN | 0.0690 | 0.2626 | 0.0204 | 0.1430 | 0.0309 | 0.1756 | 0.0281 | 0.1676 | 0.0189 | 0.1377 |
| TANSIG | 0.0107 | 0.1036 | 0.0070 | 0.0836 | 0.0090 | 0.0948 | 0.0097 | 0.0985 | 0.0083 | 0.0913 |

Tablo 3. 1 Temmuz 2020 tarihi için 40m yükseklikteki rüzgar hızı tahminleri hata oranları.

| Aktivasyon Fonksiyonu | Veri Ayrıştırmasız | | CEEMDAN | | EEMD | | LMD | | VMD | |
|-----------------------|--------------------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | MSE | RMSE | MSE | RMSE | MSE | RMSE | MSE | RMSE | MSE | RMSE |
| LOGSIG | 0.0069 | 0.0833 | 0.0050 | 0.0708 | 0.0067 | 0.0816 | 0.0053 | 0.0726 | 0.0046 | 0.0682 |
| PURELIN | 0.0455 | 0.2133 | 0.0136 | 0.1165 | 0.0195 | 0.1395 | 0.0197 | 0.1403 | 0.0117 | 0.1080 |
| TANSIG | 0.0077 | 0.0875 | 0.0066 | 0.0812 | 0.0068 | 0.0826 | 0.0052 | 0.0724 | 0.0065 | 0.0805 |

Tablo 4. 1 Ekim 2020 tarihi için 40m yükseklikteki rüzgar hızı tahminleri hata oranları.

| Aktivasyon Fonksiyonu | Veri Ayrıştırmasız | | CEEMDAN | | EEMD | | LMD | | VMD | |
|-----------------------|--------------------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | MSE | RMSE | MSE | RMSE | MSE | RMSE | MSE | RMSE | MSE | RMSE |
| LOGSIG | 0.0047 | 0.0683 | 0.0019 | 0.0442 | 0.0025 | 0.0504 | 0.0043 | 0.0652 | 0.0032 | 0.0565 |
| PURELIN | 0.0143 | 0.1195 | 0.0028 | 0.0534 | 0.0029 | 0.0536 | 0.0039 | 0.0623 | 0.0040 | 0.0635 |
| TANSIG | 0.0050 | 0.0708 | 0.0028 | 0.0527 | 0.0049 | 0.0698 | 0.0042 | 0.0646 | 0.0027 | 0.0523 |

Ocak, Nisan Temmuz ve Ekim aylarına ait yapılan 40m yükseklik için 24 saat süreli 10 dakika aralıklı rüzgar hızı tahmini sonuçlarına ait MSE ve RMSE hata değerlerinin bulunduğu tablolar (Tablo 1, Tablo 2, Tablo 3, Tablo 4) yukarıda verilmiştir.

Elde edilen bulgular göstermektedir ki, uygulanan veri ayrıştırma yöntemi ne olursa olsun, veri ayrıştırmalı dataların giriş sağladığı sinir ağlarının tahmin performansları her durumda veri ayrıştırmaz yapılan tahminlerden daha iyi sonuç vermektedir.

Özellikle bir genellemeden kaçınarak, CEEMDAN ve VMD veri ayrıştırma yöntemleri ile yapılan tahminlerin daha ön planda olduğu gözlenmektedir. Bu yaklaşımdan kastımız, değişen veri yapıları ile ayrıştırma yöntemlerinin başarımlarının değişiklik gösterme olasılığı bulunmasıdır.. Ancak meteorolojik veriler ile yapılan rüzgar hızı tahmininde CEEMDAN ve VMD veri ayrıştırma yöntemlerinin belirgin bir yüksek performans sağladığı söylenebilir.

5. Sonuçlar

Ampirik mod ayrıştırması türevleri (EEMD - CEEMDAN), Yerel Ortalama Ayrıştırması (LMD) ve Varyasyonel Mod Ayrıştırması gibi veri ayrıştırma tekniklerinin kullanımı rüzgar hızı tahmininde yapay sinir ağlarının tahmin performansı üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir. Bu teknikler, düzensiz dalgalanmaların ve veri dalgalanmalarının etkisini etkili bir şekilde azaltarak daha doğru ve güvenilir tahminler yapılmasını sağlar. Ayrıca, rüzgar hızı verilerinin ayrıştırılması, yapay sinir ağlarının çok ölçekli ve zamansal bilgileri yakalama yeteneğini artırarak önemli özelliklerin ve modellerin çıkarılmasını sağlar. Bu da sonuçta tahmin doğruluğunun ve performansının artmasını sağlar. Bu nedenle, veri ayrıştırma teknikleri, rüzgar hızı tahmininde yapay sinir ağlarının tahmin performansını artırmada çok önemli bir rol oynamaktadır.

Referanslar

- [1] G. Lee., Y. Ding., M. Genton. and L. Xie. "Power curve estimation with multivariate environmental factors for inland and offshore wind farms". *Journal of the American Statistical Association*. vol. 110. no. 509. p. 56-67. 2015.
- [2] Y. Hadri., V. Khokhlov. and M. Slizhe. "Regional climate models projections of wind speed in Morocco for period 2020-2050". *Asian Journal of Environment & Ecology*. vol. 6. no. 3. p. 1-7. 2018.
- [3] E. Chiodo., M. Fantauzzi. and G. Mazzanti. "The compound inverse Rayleigh as an extreme wind speed distribution and its bayes estimation". *Energies*. vol. 15. no. 3. p. 861. 2022.
- [4] L. Herbst and J. Lalk. "A case study of climate variability effects on wind resources in South Africa". *Journal of Energy in Southern Africa*. vol. 25. no. 3. p. 2-10. 2014.
- [5] Z. Rajab., Y. Sassi., A. Taher., A. Khalil. and F. Mohamed. "A practical seasonal performance evaluation of small wind turbine in urban environment". *Wind Engineering*. vol. 43. no. 4. p. 344-358. 2019.
- [6] L. Rapella., D. Faranda. and M. Gaetani. "Climate change on extreme winds already affects wind energy availability in Europe". *EGU General Assembly 2022, Vienna, Austria, 23–27 May 2022, EGU22-9634*. 2022.
- [7] G. Fajardo-Pulido and G. Fuster-Lopez. " Preliminary study of wind speed characterization to install a 400 W wind turbine ". *Ecorfan Journal Republic of Paraguay*. p. 23-30. 2019.
- [8] L. Rapella., D. Faranda., M. Gaetani., D. Philippe. and M. Ginesta. "Climate change on extreme winds already affects off-shore wind power availability in Europe". *Environmental Research Letters*. vol. 18. no. 3. p. 034040. 2023.
- [9] N. Saeid and M. Seyed. "Choose suitable wind turbines for Manjil wind power plant using Monte Carlo simulation". *International Journal of Computer Applications*. vol. 15. no. 1. p. 26-34. 2011.
- [10] J. Salmon and P. Taylor. "Errors and uncertainties associated with missing wind data and short records". *Wind Energy*. vol. 17. no. 7. p. 1111-1118. 2013.
- [11] K. Chatfield., K. Simonyan., A. Vedaldi. and A. Zisserman. "Return of the devil in the details: delving deep into convolutional nets". *The British Machine Vision Association*. 2014.
- [12] P. Gouverneur., F. Li., W. Adamczyk., T. Szikszay., K. Luedtke. and M. Grzegorzek. "Comparison of feature extraction methods for physiological signals for heat-based pain recognition". *Sensors*. vol. 21. no. 14. p. 4838. 2021.
- [13] A. Pamuncak., M. Salami., A. Adha., B. Budiono. and I. Laory. "Estimation of structural response using convolutional neural network: application to the Suramadu Bridge". *Engineering Computations*. vol. 38. no. 10. p. 4047-4065. 2021.
- [14] D. Cusumano., G. Meijer., J. Lenkovicz., G. Chiloiro., L. Boldrini., C. Masciocchi., N. Dinapoli., R. Gatta., C. Casà., A. Damiani., B. Barbaro., M. Gambacorta., L. Azario., M. De Spirito., M. Intven. and V. Valentini. "A field strength

independent MR radiomics model to predict pathological complete response in locally advanced rectal cancer". *La Radiologia Medica*. vol. 126. no. 3. p. 421-429. 2020.

- [15] W. Park and J. Park. "History and application of artificial neural networks in dentistry". *European Journal of Dentistry*. vol. 12. no. 04. p. 594-601. 2018.
- [16] G. Parapuram. M. Mokhtari. and J. Hmida. "An artificially intelligent technique to generate synthetic geomechanical well logs for the bakken formation". *Energies*. vol. 11. no. 3. p. 680. 2018.
- [17] I. Farkhoutdinov. "The use of artificial neural networks to solve the "make or buy" problem". *Helix*. vol. 9. no. 4. p. 5243-5247. 2019.
- [18] G. Zhou., Y. Ji., X. Chen., and F. Zhang. "Artificial neural networks and the mass appraisal of real estate". *International Journal of Online Engineering (Ijoe)*. vol. 14. no. 03. p. 180. 2018.
- [19] K. Gharehbaghi. "Artificial neural network for transportation infrastructure systems". *Matec Web of Conferences*. vol. 81. p. 05001. 2016.
- [20] S. Fard. "Solving universal approximation problem by hankel approximate identity neural networks in function spaces". *The fourth International Conference on Information Science and Cloud Computing (ISCC2015)*. p. 31. 2016.
- [21] N. Ganesan., K. Venkatesh., M. Rama., and A. Palani. "Application of neural networks in diagnosing cancer disease using demographic data". *International Journal of Computer Applications*. vol. 1. no. 26. p. 81-97. 2010.
- [22] R. Suryanita., H. Maizir., E. Yuniarto., M. Zulfakar. and H. Jingga. "Damage level prediction of reinforced concrete building based on earthquake time history using artificial neural network". *Matec Web of Conferences*. vol. 138. p. 02024. 2017.
- [23] Y. Yang., B. Yang., and C. Su. "Application of residual shear strength predicted by artificial neural network model for evaluating liquefaction-induced lateral spreading". *Advances in Civil Engineering*. vol. 2020. p. 1-15. 2020.
- [24] K. Stanley and R. Miikkulainen. "Evolving neural networks through augmenting topologies". *Evolutionary Computation*. vol. 10. no. 2. p. 99-127. 2002.
- [25] J. Ortiz-Rodriguez., M. Martinez-Blanco., E. Gallego. and H. Vega-Carrillo. "A computational tool design for evolutionary artificial neural networks in neutron spectrometry and dosimetry". *Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference*. p. 113-118. 2009.
- [26] H. Liu., H. Tian., D. Pan., and Y. Li. "Forecasting models for wind speed using wavelet. wavelet packet. time series and artificial neural networks". *Applied Energy*. vol. 107. p. 191-208. 2013.
- [27] B. Doucoure., K. Agbossou. and A. Cardenas. "Time series prediction using artificial wavelet neural network and multi-resolution analysis: application to wind speed data". *Renewable Energy*. vol. 92. p. 202-211. 2016.
- [28] H. Tian., X. Liang. and H. Liu. "Wind speed forecasting approach using secondary decomposition algorithm and Elman neural networks". *Applied Energy*. vol. 157. p. 183-194. 2015.
- [29] M. Bilgili., B. Şahin. and A. Yaşar. "Application of artificial neural networks for the wind speed prediction of target station using reference stations data". *Renewable Energy*. vol. 32. no. 14. p. 2350-2360. 2007.
- [30] P. Ramasamy., S. Chandel. and A. Yadav. "Wind speed prediction in the mountainous region of India using an artificial neural network model". *Renewable Energy*. vol. 80. p. 338-347. 2015.
- [31] S. Salcedo-Sanz., Á. Pérez-Bellido., E. Ortiz-García., A. Portilla-Figueras., L. Prieto. and D. Paredes. "Hybridizing the fifth generation mesoscale model with artificial neural networks for short-term wind speed prediction". *Renewable Energy*. vol. 34. no. 6. p. 1451-1457. 2009.
- [32] D. Petković., V. Nikolić., V. Mitić. and L. Kocić. "Estimation of fractal representation of wind speed fluctuation by artificial neural network with different training algorithms". *Flow Measurement and Instrumentation*. vol. 54. p. 172-176. 2017.

- [33] T. Blanchard and B. Samanta. "Wind speed forecasting using neural networks". *Wind Engineering*. vol. 44. no. 1. p. 33-48. 2019.
- [34] A. Lodge and X. Yu. "Short term wind speed prediction using artificial neural networks". *International Conference on Information Science and Technology (ICIST)*. p. 539-542. 2014.
- [35] Ü. Filik and T. Filik. "Wind speed prediction using artificial neural networks based on multiple local measurements in Eskisehir". *Energy Procedia*. vol. 107. p. 264-269. 2017.
- [36] G. Kariniotakis., G. Stavrakakis. and E. Nogaret. "Wind power forecasting using advanced neural networks models". *Ieee Transactions on Energy Conversion*. vol. 11. no. 4. p. 762-767. 1996.
- [37] F. Gemici and A. Şahin. "Estimation of wind speed with artificial neural networks method for isparta using meteorological measurement data". *International Journal of Energy Applications and Technologies*. vol. 8. no. 2. p. 65-69. 2021.
- [38] T. Komamizu., T. Yasuno. and H. Sori. "Study on output prediction system of wind power generation using complex-valued neural network with multipoint GPV data". *Ieej Transactions on Electrical and Electronic Engineering*. vol. 8. no. 1. p. 33-39. 2012.
- [39] R. Fukuoka., H. Suzuki., T. Komamizu., A. Kuwahara. and T. Yasuno. "Wind speed prediction model using LSTM and 1D-CNN". *Journal of Signal Processing*. vol. 22. no. 4. p. 207-210. 2018.
- [40] G. Shigute and J. Li. "A wind speed estimation method for quadcopter using artificial neural network". *International Journal of Engineering Research And*. vol. V8. no. 04. 2019.
- [41] A. Kumar., T. Cermak. and S. Misak. "Short-term wind power plant predicting with artificial neural network". *International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE)*. p. 584-588. 2015.
- [42] M. Zhao., D. Jiang. and C. Liu. "Research on wind power forecasting method using phase space reconstruction and artificial neural network". *International Conference on Sustainable Power Generation and Supply, SUPERGEN*. p. 1-5. 2009.
- [43] Z. Zheng., Y. Chen., X. Zhou., M. Huo., B. Zhao. and M. Guo. "Short-term wind power forecasting using empirical mode decomposition and RBFNN". *International Journal of Smart Grid and Clean Energy*. vol. 2. no. 2. p. 192-199. 2013.
- [44] A. Camara., F. Wang. and X. Liu. "Energy consumption forecasting using seasonal arima with artificial neural networks models". *International Journal of Business and Management*. vol. 11. no. 5. p. 231. 2016.
- [45] E. Bezerra., R. Leao. and A. Braga. "A self-adaptive approach for particle swarm optimization applied to wind speed forecasting". *Journal of Control Automation and Electrical Systems*. vol. 28. no. 6. p. 785-795. 2017.
- [46] A. Cichocki., D. Mandic., A. Phan., G. Zhou., Q. Zhao., C. Caiafa. and H. Phan. "Tensor decompositions for signal processing applications: from two-way to multiway component analysis". *Ieee Signal Processing Magazine*. vol. 32. no. 2. p. 145-163. 2015.
- [47] G. Duari and R. Kumar. "Data decomposition for outlier detection". 2023. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2565842/v1>
- [48] H. Zhang., P. Li., H. Ye., D. Shi., Z. Xue., W. Fan. and F. Meng. "Data distribution and tensor influence analysis of different clustering methods". 2023. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2754780/v1>
- [49] M. Kalugin and I. Evdokimov. "Numerical study of characteristic modes and frequencies of flow in high-speed compressors". *Proceedings of the Institute for System Programming of Ras*. vol. 29. no. 1. p. 21-38. 2017.
- [50] E. Kwok., C. Li., Q. Zhao. and Y. Li. "A novel two-component decomposition for co-polar channels of gf-3 quad-pol data". *The International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. vol. XLII-3. p. 745-749. 2018.
- [51] G. Singh., G. Kaur. and V. Kumar. "Ecg denoising using adaptive selection of IMFs through EMD and EEMD". 2014 *International Conference on Data Science & Engineering (ICDSE)*. p. 228-231. 2014.

- [52] G. Li., Z. Yang. and H. Yang. "A denoising method of ship radiated noise signal based on modified CEEMDAN, dispersion entropy and interval thresholding". *Electronics*. vol. 8. no. 6. p. 597. 2019.
- [53] S. Saminu., G. Xu., S. Zhang., A. Isselmou., A. Jabire., I. Karaye. and I. Ahmad. "Hybrid Feature Extraction Technique for Multi-Classification of Ictal and Non-Ictal EEG Epilepsy Signals". *Elektrika- Journal of Electrical Engineering*. vol. 19. no. 2. p. 1-11. 2020.
- [54] F. Hasan. "Chaotic signals denoising using empirical mode decomposition inspired by multivariate denoising". *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*. vol. 10. no. 2. p. 1352. 2020.
- [55] C. Lee., K. Huang., Y. Hsieh. and P. Chen. "Optimal intrinsic mode function based detection of motor bearing damages". *Applied Sciences*. vol. 9. no. 13. p. 2587. 2019.
- [56] D. Fernandes and M. Suchetha. "Field-programmable gate array implementation of empirical mode decomposition algorithm for electrocardiogram processing". *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*. vol. 10. no. 13. p. 77. 2017.
- [57] S. Wang., Q. Liao., D. Liu. Y. Zhou., B. Xu., Y. Wang. and L. Lu. "Identification of power quality disturbances based on EEMD and TEO". *Applied Mechanics and Materials*. vol. 433-435. p. 469-476. 2013. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.433-435.469>
- [58] P. Bing., W. Liu. and Z. Zhang. "A robust random noise suppression method for seismic data using sparse low-rank estimation in the time-frequency domain". *Ieee Access*. vol. 8. p. 183546-183556. 2020.
- [59] Z. He., Z. Haiyang., J. Wang., X. Jin., S. Gao. and J. Pang. "Bp-adaboost algorithm based on variational mode decomposition optimized by envelope entropy for diagnosing the working conditions of a slideway seedling-picking mechanism". *Applied Engineering in Agriculture*. vol. 37. no. 4. p. 665-675. 2021.
- [60] J. Li., J. Jiang., X. Fan., H. Wang., L. Song., W. Liu., J. Yang. and L. Chen. "A new method for weak fault feature extraction based on improved MED". *Shock and Vibration*. vol. 2018. p. 1-11. 2018.
- [61] M. Bradford., R. Warren., P. Baldrian., T. Crowther., D. Maynard., E. Oldfieldet., W. Wieder., S. Wood. and J. Kind. "Climate fails to predict wood decomposition at regional scales". *Nature Climate Change*. vol. 4. no. 7. p. 625-630. 2014.
- [62] Z. Tian., S. Li. and Y. Wang. "A prediction approach using ensemble empirical mode decomposition-permutation entropy and regularized extreme learning machine for short-term wind speed". *Wind Energy*. vol. 23. no. 2. p. 177-206. 2019.
- [63] N. Huang., H. Chen., G. Cai., L. Fang. and Y. Wang. "Mechanical fault diagnosis of high voltage circuit breakers based on variational mode decomposition and multi-layer classifier". *Sensors*. vol. 16. no. 11. p. 1887. 2016.
- [64] S. Fang., X. Wang. and C. Lu. "Rolling bearing fault diagnosis based on LCD-TEO and multifractal detrended fluctuation analysis". *Mechanical Systems and Signal Processing*. vol. 60-61. p. 273-288. 2015.
- [65] A. Hemedad., E. Eladdad. and I. Lairje. "Local fractional analytical methods for solving wave equations with local fractional derivative". *Mathematical Methods in the Applied Sciences*. 2018.
- [66] H. Li., B. Fan., R. Jia., F. Zhai., L. Bai. and X. Luo. "Research on multi-domain fault diagnosis of gearbox of wind turbine based on adaptive variational mode decomposition and extreme learning machine algorithms". *Energies*. vol. 13. no. 6. p. 1375. 2020.
- [67] S. Barik. "Fault detection and classification of dc microgrid based on vmd". *Compel the International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering*. vol. 42. no. 2. p. 302-322. 2022.
- [68] M. Bouaicha., M. Guerroum., I. Adraoui., H. Gziri., A. Elmahjoub. and M. Zegrari. "Diagnosis of mechanical faults affecting a hydroelectric group by vibration analysis". *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. vol. 11. no. 11. p. 86-100. 2021.
- [69] Z. Jiang., Z. Ding., Y. Liu., Y. Wang., X. Hu. and Y. Yang. "A data-driven based decomposition-integration method for remanufacturing cost prediction of end-of-life products". *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. vol. 61. p. 101838. 2020.

- [70] L. Ning., L. Bing., J. Wei. and X. Cungen. "A fault pattern recognition method for rolling bearing based on celmdan and fuzzy entropy". *Journal of Vibroengineering*. vol. 22. no. 6. p. 1326-1337. 2020.
- [71] Z. Wang., N. Yang., N. Li., W. Du. and J. Wang. "A new fault diagnosis method based on adaptive spectrum mode extraction". *Structural Health Monitoring*. vol. 20. no. 6. p. 3354-3370. 2021.
- [72] D. Kolotkov., S. Anfinogentov. and V. Nakariakov. "Empirical mode decomposition analysis of random processes in the solar atmosphere". *Astronomy and Astrophysics*. vol. 592. p. A153. 2016.
- [73] B. Pang., M. Nazari., Z. Sun., J. Li. and G. Tang. "An optimized variational mode extraction method for rolling bearing fault diagnosis". *Structural Health Monitoring*. vol. 21. no. 2. p. 558-570. 2021.
- [74] E. Wang., L. Liu., H. Jia., J. Wang., Y. Xu. and X. Xie. "Fault diagnosis method of high voltage circuit breaker based on the combination of time-frequency multi-characteristics of acoustic signal". *Journal of Vibroengineering*. vol. 25. no. 1. p. 156-170. 2022.
- [75] Y. Guo., S. Jiang., Y. Yang., X. Jin. and Y. Wei. "Gearbox fault diagnosis based on improved variational mode extraction". *Sensors*. vol. 22. no. 5. p. 1779. 2022.
- [76] K. Yang., M. Xu., X. Yang., R. Yang. and Y. Chen. "A novel emg-based hand gesture recognition framework based on multivariate variational mode decomposition". *Sensors*. vol. 21. no. 21. p. 7002. 2021.
- [77] T. Zhang and C. Fu. "Application of improved VMD-LSTM model in sports artificial intelligence". *Computational Intelligence and Neuroscience*. vol. 2022. p. 1-6. 2022.
- [78] H. Peng and M. Zhang. "Application of deep neural network algorithm in speech enhancement of online English learning platform". *Icst Transactions on Scalable Information Systems*. p. e13. 2022.
- [79] H. Li., B. Xu., F. Zhou., B. Yan. & F. Zhou. "Empirical variational mode decomposition based on binary tree algorithm". *Sensors*. vol. 22. no. 13. p. 4961. 2022.

Comparison of Boriding Heat Treatment and Induction Boriding Method

Ulaş İpekoğlu ^a, Uğur Çavdar ^{b,1}^a İzmir Demokrasi University, Faculty of Engineering, Mechanical Engineering Department, 35580 İzmir, Turkey
ORCID ID: 0009-0003-3738-4722^b İzmir Demokrasi University, Faculty of Engineering, Mechanical Engineering Department, 35580 İzmir, Turkey
ORCID ID: 0000-0002-3434-6670

Abstract

Induction boriding is a metal processing technique that applies a surface accumulation process using a high-frequency electromagnetic field on metal parts. The adoption of this method in industrial applications is anticipated due to its advantages such as high efficiency, precision, and low energy consumption. Induction boriding relies on the principle of using the electromagnetic field to heat metal parts and create desired properties on the surface. During this process, the high-frequency current produced by induction coils penetrates into the metal part, causing heating due to internal resistance. This heating allows the formation of desired characteristics like surface hardness, durability, or other specific attributes. The boriding process is carried out within the range of 2-8 hours and at temperatures between 850-1000°C. In induction boriding, faster boron diffusion is expected, leading to the anticipation of reaching the desired hardness and coating thickness values in a shorter timeframe.

Keywords: “Induction boriding, boriding, steel, heat treatment.”

1. Introduction

1.1. Borlama

Termokimyasal yüzey sertleştirme işlemlerinden biri olan borlama, genel olarak bor atomlarının metal yüzeyine difüzyonu olarak tanımlanabilir. Bor atomları yüksek sıcaklıkta metal yüzeye yayınırlar ve yüzeyde esas metal atomlarıyla borür tabakalar oluştururlar. Yaygın olarak sert ve yüksek aşınma direncine sahip tabakalar elde etmek için kullanılırlar.[1] Bu işlem bor atomlarının metalik malzemenin yüzeyinden içeriye doğru difüzyonu ile gerçekleşir. İşlem sırasında oluşan Fe₂B bileşikler iletkenlik özelliği göstermelerinin yanı sıra sertliğin yüksek olması gibi tipik seramik özelliklerine de sahip bileşiklerdir.[2] Borlama işleminin birinci basamağında, borlayıcı ortam ve işlenecek nesnenin yüzeyindeki reaksiyon birimleri arasında reaksiyon gerçekleşir. Taneler nesnenin yüzeyinde çekirdek oluştururlar. Çekirdek oluşumu işlem süresiyle birlikte artar. Zamanla artan çekirdekler ince bir bor tabakası meydana getirir. Bor, çeliğin yüzeyine iki farklı yapıda yayılır. Borlama ısıl işlemi esnasında borür çekirdeği ilk olarak numune yüzeyinde oluşur. Oluşan ilk faz Fe₂B fazıdır. Ortamdaki bor konsantrasyonu yeterliyse FeB fazı da oluşur. [3]. Oluşan tabakalardan FeB sertlik açısından çok yüksek değerlere ulaştığından malzemeyi kırılmalık yönünden olumsuz etkilemektedir. Yani oluşan tabakanın (Fe₂B+FeB) şeklinde olması borlama işlemini başarısız kılabilir. Borlama sırasında oluşan tabakanın özellikleri; işlem sırasında kullanılan yöntem, borlama malzemesinin bileşimi, işlenecek malzemenin cinsi, işlem süresi ve sıcaklığı gibi faktörlerden etkilenmektedir.

İkinci Fick Kanunu'na göre:

$$\frac{dc}{dt} = D \cdot \frac{d^2c}{dx^2} \quad (1)$$

D terimi sabit kaldıkça farklı koşullar altında aynı konsantrasyon profili elde edilebilir. Bu özellik belirli bir ısıl işlemin uygulanması için gerekli zaman üzerine sıcaklığın etkisini belirlemeyi sağlar. [4] Genel olarak borlama işlemi 2-8 saat aralığında yaklaşık olarak 850 – 1000 °C 'de yapılmaktadır. Borlama yöntemlerini dörde ayırabiliriz. (Katı, sıvı, gaz ve plazma formda bor verici kullanılarak yapılan) [5]

¹ Corresponding Author
E-mail Address: ugur.cavdar@idu.edu.tr

1.1.1. Katı Ortamda Borlama

Bu yöntemde borlama işlemi uygulanacak malzeme, toz formdaki bor verici ortama konur ve genellikle 900-1000 c sıcaklıkta 4-10 saat bekletilerek borlama işlemi gerçekleştirilir. Bu işlem, redüksiyon ortamının korunması amacıyla borlama ortamına oksijen akışının engellenebilmesi için soygaz atmosferinde; veya sıkı kapatılmış kutu içerisinde gerçekleştirilmesi şartıyla normal atmosferik ortamda yapılabilir. Tozların tanecik büyüklükleri, borlama sonucu oluşması istenen borür tabakasının özelliklerine göre 5-10 mm arasında belirlenmelidir. Borlama ortamının esas bileşeni bor karbür, amorf bor ve ferro bordur. ana borlayıcı kaynağa ek olarak NH_4Cl , BaF , $NaBF_4$, NH_4F , Na_2CO_3 , KBF_4 ve Na_2AlF_6 gibi aktivatörler kullanılır.

Borlama işleminde oluşan Fe_2B ve FeB fazlarının ısıl genleşme miktarlarındaki farklılıklar nedeniyle işlem sonucunda borlanan malzemenin yüzeyinde çatlaklar meydana gelebilir. Bu durum, borlama ısıl işleminin bazı endüstriyel uygulamalar için kabul edilemez olmasına sebep olur. Çatlakların engellenmesinin yolu, FeB bazını azaltmak ya da tamamen yok etmektir. Bu sonuç katı ortam borlaması sayesinde mümkün kılınmıştır. H.P. Kehler tarafından yapılan borlama işleminde bor kaynağı olarak B_4C , aktivatör olarak KBF_4 , deoksiant ve dolgu maddesi olarak SiC kullanılmıştır. İşlem sonucunda yalnızca Fe_2B fazına sahip borür tabakalar ya da FeB fazı oranının oldukça az olduğu tabakalar elde edilmiştir.[6]

1.1.2. Sıvı Borlama

Borlama banyosunun sıvı halde bulunduğu yöntemdir. Sıvı borlama 700 ile 1000 derece arasında gerçekleştirilebilir. Sıvı borlama işlemleri elektrolitik olmayan / elektrolitik olarak iki ayrı şekilde sınıflandırılabilir.

Sıvı borlama yönteminin birçok dezavantajı bulunmaktadır. Bunlar;

- Borlama işlemi sonucunda işlenen parçanın yüzeyinde tuz kalıntıları ve reaksiyona girmeyen bor kalıntıları bulunur. Bu durumu düzeltmek hem zaman kaybına hem de maliyet artışına sebep olur.
- Borlama işleminin başarıyla sonuçlandırılabilmesi için borlama esnasında banyo viskozitesinin artırılması gerekmektedir. Bu amaçla sıvı banyosuna tuz eklenmektedir. Bir diğer maliyet artış sebebi de budur.
- Kullanılacak fırınlar korozyif şartlara karşı dayanıklı olmalıdır.
- Elektrolitik sıvı borlama işlemi, demir esaslı malzemelere uygulanan ve $900^{\circ}C$ - $950^{\circ}C$ sıcaklık aralığında gerçekleştirilen borlama işlemidir.
- Tuz banyosunda elektrolitik borlama işleminde, katot malzemesi borlanacak demir esaslı malzeme, anot malzemesi grafit ve elektrolit malzemesi boraktır.
- Kaplama tabakasının homojen dağılması ve tabaka kalınlığının parçanın tüm bölgelerinde aynı olması amacıyla elektroliz işlemi boyunca parça döndürülmektedir.

1.1.3. Gaz Borlama

Gaz fazındaki ortamda yapılan borlama işlemidir. Borlama işlemi, bir evaporatör aracılığıyla gaz haline getirilmiş bor kaynağı (BCl_3 gibi), Ar ve H_2 gazlarından oluşan belirli bir karışımın, paslanmaz çelikten yapılmış ve dış ortama kapalı olan bir oda içerisinde parçaya püskürtülmesiyle yapılır.

1.1.4. Plazma Borlama

Katı fazdaki bir malzeme enerji verilerek sıvı faza, sıvı fazdaki malzeme enerji verilerek gaz faza ve gaz fazındaki malzeme enerji verilerek plazma haline geçirilebilir. Bu işlemin tersi de gerçekleştirilebilir. Uygulamada plazma işlemi, ısıl enerjinin aktarılmasıyla, ışınla ya da elektriksel boşalma aracılığıyla elde edilir. Elektriksel boşalma, en sık kullanılan plazma borlama yöntemidir. Plazma borlama; iyon, elektron, uyarılmış atom, foton ve nötral atom ya da molekül içeren karışımdan oluşur. Bu belirtilen durumlar arasındaki temel fark sahip oldukları enerjilerden kaynaklanır. Mikroyapı ve demirbor tabakalarının büyümelerinin kontrolü; işlem sıcaklığı, gazların karışım oranı, malzeme kompozisyonları, işlem basınç değişim oranları ve uygulanan akım yoğunluğuyla sağlanabilmektedir. [7]

1.2. İndüksiyonla Borlama

İndüksiyonla borlama, metal parçaların yüzeylerine yüksek frekansta elektromanyetik alan uygulayarak ısıtılmasını sağlayan bir termal işleme yöntemidir. Bu işlem, metal parçanın sadece istenilen bölgelerini ısıtarak, yalnızca bu bölgelerin özelliklerini değiştirmeyi amaçlar. İndüksiyonla borlama, özellikle endüstriyel uygulamalarda kullanılan etkili bir yüzey sertleştirme yöntemidir. Bu işlemden, bir indüksiyon bobini, metal parçanın belirli bir bölgesine elektromanyetik alan üretir. Metal, bu

elektromanyetik alandan etkilenecek hızla ısınır. Isınan metal, belirli bir sıcaklığa ulaştığında, belli bir süre boyunca bu sıcaklıkta tutularak termal işlem gerçekleştirilir. Borlama işlemi, metalin yüzeyindeki mikroyapıyı değiştirir ve böylece yüksek bir sertlik değeri elde beklenir. İndüksiyonla borlama, birçok avantaj sunar. İlk olarak, işlem hızlı ve hassas bir şekilde gerçekleşir. Metal parçanın sadece belirli bölgelerinin ısınması, enerji verimliliğini artırır ve istenmeyen termal etkileri minimize eder. Ayrıca, bu yöntemle elde edilen yüzey sertliği, parçanın dayanıklılığını artırarak mekanik özelliklerini geliştirir. [8]

Frekans ve penetrasyon derinliği arasında tersinir bir ilişki vardır. Borlama difüzyonunda yüksek frekans kullanılırsa bor nüfuziyeti yüzeye yakın kısımda kalır, düşük frekans kullanıldığında ise bor nüfuziyeti yüzeyden derinlere doğru ilerler.

$$\delta \approx \frac{1}{\sqrt{\pi \cdot f \cdot \mu \cdot \sigma}} \quad (2)$$

δ : penetrasyon derinliği(mm)

f: frekans (Hz)

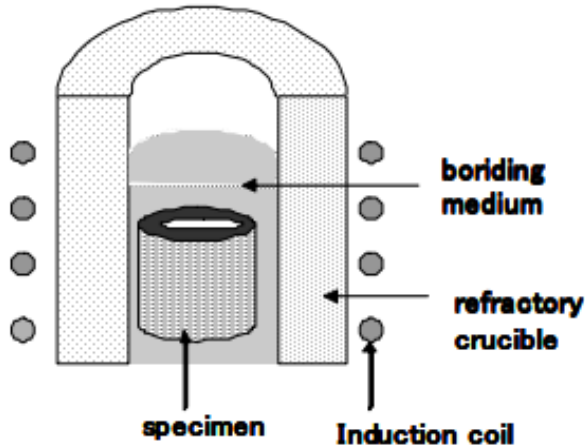
μ : manyetik geçirgenlik (H/mm)

σ : elektriksel iletkenlik (C²/N.m²) [9]

Endüstriyel üretimde kullanılmaya başlanan indüksiyonla borlama işlemi, özellikle otomotiv, havacılık ve enerji sektörlerinde parçaların dayanıklılığını ve performansını artırmak amacıyla tercih edilmektedir. Bu yöntem, malzeme mühendisliği alanında önemli bir teknolojik ilerlemeyi temsil ederken, endüstriyel uygulamalarda verimliliği ve kaliteyi artırmaya yönelik sürekli araştırmalara da ilham kaynağı olmaktadır. [10]

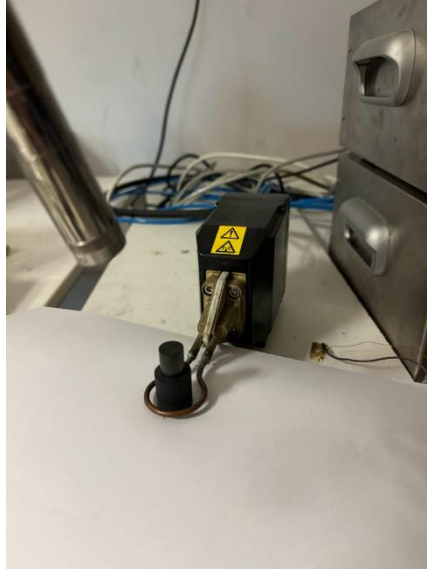
2. Materyal ve Metod

Bu çalışmada borlama ısıl işlemi ve indüksiyon borlama işleminden karşılaştırılmalı bir şekilde bahsedilmiş olup indüksiyonla borlama ısıl işleminin avantajlı yönleri V. G. Shchukin ve V. V. Marusin [12] yaptıkları matematiksel model örnek gösterilerek anlatılmıştır.



Şekil 1 İndüksiyonla borlama işleminin şematik gösterimi [11]

Şekil-1 indüksiyonla borlama işleminde kullanılacak bir sistemin şematize edilmiş gösterimidir. Bu sistemde borlama, kutulara yerleştirilen parçaların yüzey tabakasının indüksiyonla ısıtılması ve bu işlemle borlama ortamının eritilmesinin mümkün kılınması yoluyla gerçekleştirilir.



Şekil 2 İndüksiyonla Borlama İşlemi

İndüksiyonla borlama işlemi Şekil-2 de görüldüğü üzere numunenin indüksiyon cihazına bağlı bobin sisteminin içerisine yerleştirildikten sonra bobin etrafında oluşan elektromanyetik alan vasıtasıyla ısıtılarak sertlik ve mukavemet özelliklerinin geliştirilmesini amaçlar.

3. Bulgular

Aşağıdaki tabloda yüzey kaplama işlemlerinin (geleneksel borlama yöntemi ve indüksiyonla borlama) zaman ve sıcaklığa göre sağladığı yüzey sertliği değerleri karşılaştırılmıştır.

Tablo 1 : Borlama işlemi ve indüksiyonla borlama işleminin karşılaştırılması. [12]

| Yüzey Kaplama İşlemi | İşlem Sıcaklığı °C | Zaman(saat) | Yüzey Sertliği(HV) |
|----------------------|--------------------|--------------|--------------------|
| Borlama | 800-1050 | 2-8 | Max. 2000 |
| İndüksiyonla Borlama | 1100 | 0,194 | 1850-2500 |

Tablo 1 de görüldüğü üzere ısı işlemlerin karşılaştırmasında indüksiyonla borlamanın sertlik özelliği bakımından geleneksel borlama yöntemlerine kıyasla daha avantajlı olduğu söylenebilir.

İndüksiyonla borlama işlemi ile ilgili yapılan çalışmada V. G. Shchukin ve V. V. Marusin yaptıkları araştırmalar sonucu hareketli kaynak aracılığıyla yüksek konsantrasyonlu indüksiyonla ısıtma sırasında çeliğin yüzey katmanının difüzyon alaşımının matematiksel bir modelini geliştirmişlerdir. Matematiksel modelin yanı sıra borlu yüzey katmanına sahip bir kesici takımın ticari testini gerçekleştirerek, daha önce bilinen lazerle söndürme yöntemiyle karşılaştırmış ve geliştirilen yöntemin 2,5 kat daha verimli ve 10 kattan daha fazla maliyet verimli olduğunu belirlemişlerdir. Elektromanyetik, termal ve difüzyon süreçlerinin modeli de geliştirilmiş ve hesaplanan difüzyon borlama derinlikleri ile deneysel veriler arasında tatmin edici bir uyum elde etmişlerdir. Yaptıkları hesaplamalar sonucu buldukları teorik sonuçlar ve deneysel sonuçlar arasındaki farkın %15'i geçmediğini gözlemlemişlerdir. Böylece, yüksek konsantrasyonlu indüksiyon ile ısıtma sırasında, bor ile çeliğin alaşımı için geliştirilen birleşik matematiksel modelin doğru olduğunu söylemek mümkündür. [12]

4. Sonuç ve Tartışma

Yapılan deneysel çalışmalar ve modellemeler göz önünde bulundurulduğunda borlama ısı işleminin malzemenin sertlik ve mukavemet özelliklerini geliştirmede önemli bir katkısı olduğu görülmektedir.

Borlama prosesi indüksiyon borlama metoduyla gerçekleştirildiğinde hızlı ısınma ve soğuma süreçleri sayesinde diğer geleneksel yöntemlere göre daha hızlı bir işlem sunar. İşlemin daha kısa sürmesi dolayısıyla maliyetin azalması beklenmektedir. İndüksiyonla borlama, enerjiyi etkili bir şekilde kullanarak düşük enerji tüketimi sağlar. Endüstriyel otomasyon sistemleriyle entegre edilebilir, bu da üretim süreçlerini optimize eder. [13]

İndüksiyonla borlama prosesinde Fe2B katmanının frekansla kontrol edilebileceği düşünülmektedir. (Frekans artınca yüzeydeki tabaka sertliği artar, yüzeyde daha çok sertleştirme sağlanır.) Böylece aşınma dayanımı artmış olur.

İndüksiyonla borlama, geniş bir endüstri yelpazesinde kullanılabilir. Otomotiv, havacılık, enerji, tıp ve metalurji gibi sektörlerde çeşitli uygulama alanları bulunmaktadır. Örneğin, motor parçalarının yüzey sertleştirme işlemlerinde, dişli sistemlerde ve aşınmaya dayanıklı kaplamaların oluşturulmasında tercih edilebilir bir yöntem olması beklenmektedir. [14]

Referanslar

- [1] İ. Yıldız., A. G. Çelik. and İ. Güneş. Fe İçerisindeki Mg Elementinin Borlama İşlemine Etkisinin Araştırılması. MT Bilimsel(20), 1-10. (2021).
- [2] U.Çavdar., “Demir Esaslı Sinter Metallerine Yapılabilecek Isıl İşlemlerin Belirlenmesi Ve Geliştirilmesi.” Yüksek lisans tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa. (2005)
- [3] S. Şahin, Katı Borlama Yöntemi ile Ferrobör Üretimi ve Özelliklerinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa. (1999)
- [4] W. D. Callister and D. G.Rethwisch, (2017). Materials Science And Engineering: An İntroduction. John Wiley & Sons.
- [5] Topuz, P. & Aydoğmuş, T. “Investigation Of Wear Behavior Of Boronized Aisi 316 Stainless Steel” . Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi , 8 (2) , 1105-1114 . DOI: 10.28948/ngumuh.598201 (2019).
- [6] Z. Göy, “Borlama” Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bil.Enst., İstanbul, (1984)
- [7] D. Arslan, “Kutu Borlama İşlemi Uygulanmış Çeliklerin Yüksek Sıcaklık Yorulma Dayanımlarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa, (2017)
- [8] S. Vinodh Kumar, G. Surya Raj and M. Prince, Effects Of Pack Boriding And Induction Boriding On The Dry Sliding Wear Behavior Of High Speed Steel, Materials Today: Proceedings, Volume 59, Part 1, Pages 1105-1110, ISSN 2214-7853, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.019>. (2022)
- [9] A. Keysan, “Balıkesir İli Şehir Merkezi ve Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi'nin Elektromanyetik Alan Haritası”, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, (2015)
- [10] C. Lee and L. Wang, ” Efficiency and Precision In Induction Boriding: A Comparative Study.” Manufacturing Science and Technology Journal, 28(4),512-525. (2019)
- [11] Y. Iwabuchi, and I. Kobayashi, Application of Induction Heating to Boriding. Advanced Materials Research, 586, 64–68. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.586.64> (2012).
- [12] V.G. Shchukin and V.V.Marusin, Induction boriding of steels. Inorg. Mater. Appl. Res. 6, 382–387 <https://doi.org/10.1134/S2075113315040218> (2015).
- [13] Z. C. Li. and Z. Zhao, “İnduction Hardening.” Woodhead Publishing. (2009).
- [14] E. Yıldırım, H. Cebi, M. Şen and E.S. Yılmaz., “Robot Kontrollü İndüksiyon Sertleştirme Parametrelerinin Sac Metal Kalıp Yüzey Sertliğine Etkilerinin Taguchi Metoduyla İncelenmesi.”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23(1), 15-23, doi:10.5505/pajes.201624540 (2017)