



ADYAMAN ÜNİVERSİTESİ

Mühendislik Bilimleri Dergisi

Journal of Engineering Science
of Adiyaman University

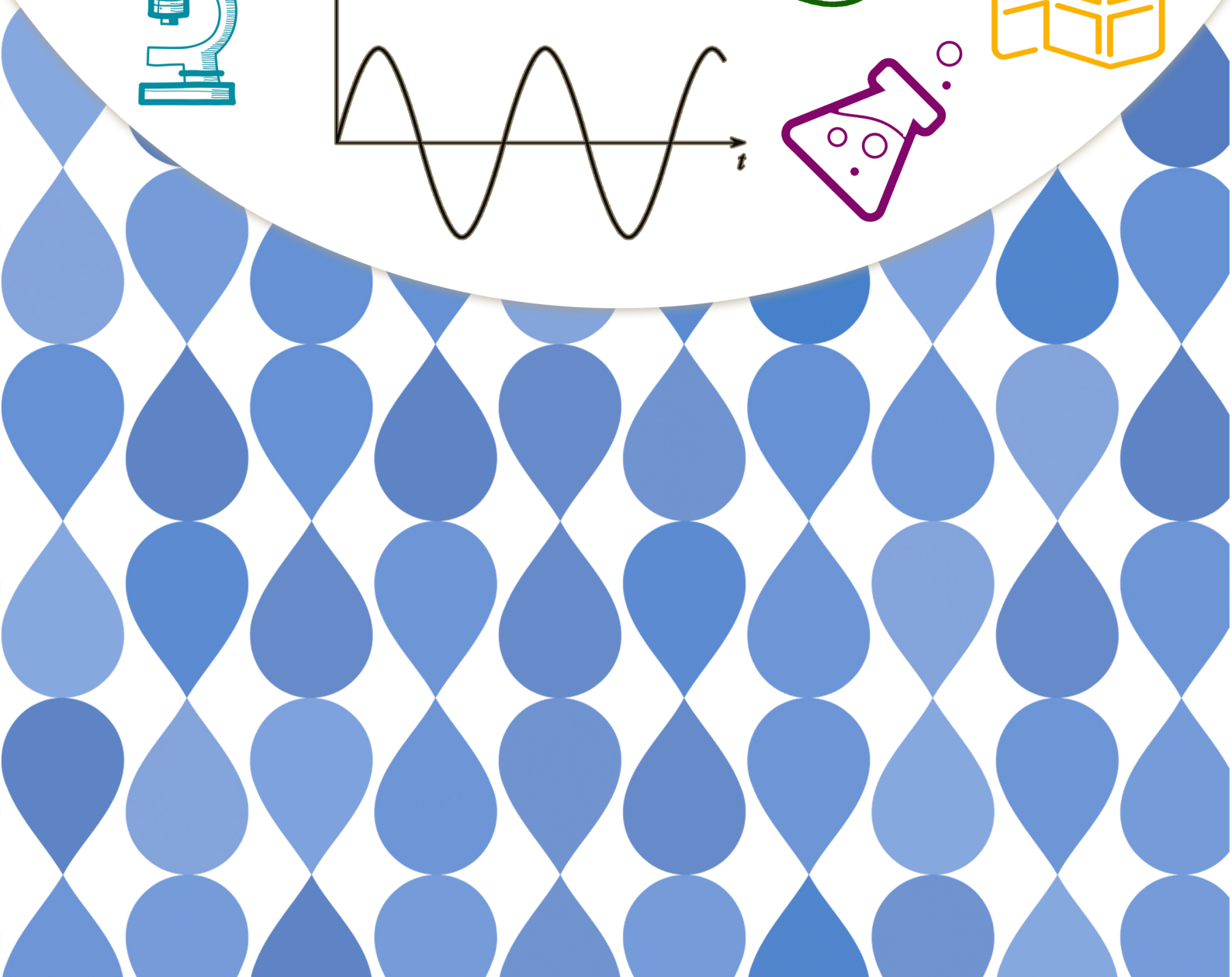
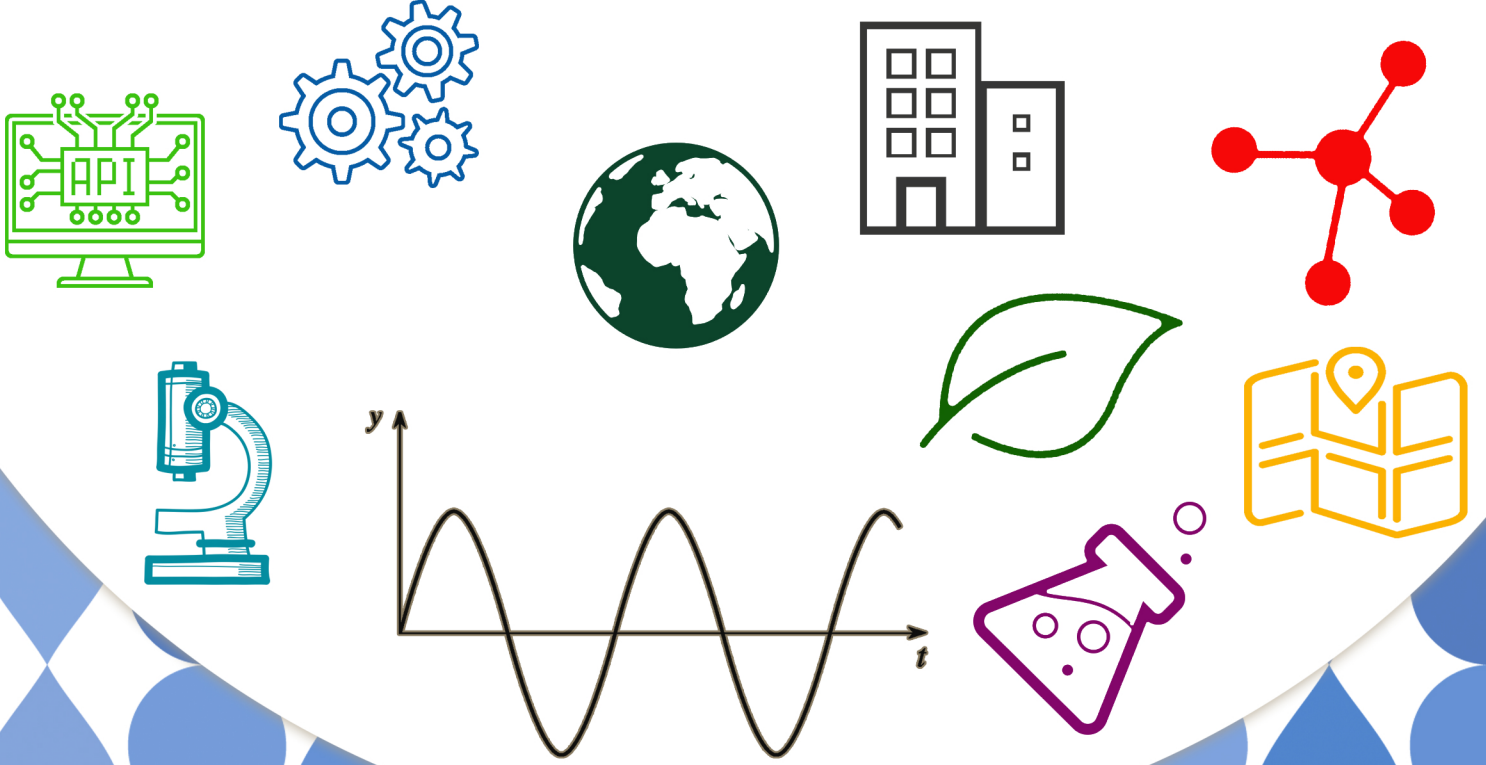
ISSN: 2149-0309

CİLT
VOLUME 8

SAYI
ISSUE 14

HAZİRAN
JUNE

2021



ADIYAMAN ÜNİVERSİTESİ

Mühendislik Bilimleri Dergisi

Journal of Engineering Science of Adiyaman University

ISSN: 2149-0309

Dergi Yöneticisi

Prof. Dr. Murat PALA

Cilt:8 Sayı:14

Baş Editör

Prof. Dr. Murat PALA / Baş Editör ve Alan Editörü

Editörler

Prof. Dr. Leon JOLOLIAN / Alan Editörü

Assist. Prof. Dr. Oksana KOPLAK / Alan Editörü

Dr. Thomas FEGGELER / Alan Editörü

Prof. Dr. Tanju TEKER / Alan Editörü

Doç. Dr. Harun TÜRKMENLER / Alan Editörü

Doç. Dr. Şerif ÇİTİL / Alan Editörü

Dr. Öğr. Üyesi Miraç UÇKUN / Alan Editörü

Dr. Saadin OYUCU / Alan Editörü

Arş. Gör. Abuzer DOĞAN / Alan, Mizanpaj ve Dil Editörü

Arş. Gör. Musa EŞİT / Alan Editörü

Yazışma Adresi / Correspondence

Address - Adiyaman Üniversitesi

Mühendislik Fakültesi Dekanlığı

e-mail: mbd@adiyaman.edu.tr

Tel: 0 (416) 223 38 08

Fax: 0 (416) 223 38 09

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/adyumbd>

YAYIN KURULU/ EDITORIAL BOARD

- 1-Prof.Dr. Şemsettin TEMİZ(İnönü Üniversitesi)
- 2-Prof.Dr. Murat DEMİR AYDIN (Erzurum Teknik Üniversitesi)
- 3-Prof.Dr. İbrahim TÜRKMEN (İnönü Üniversitesi)
- 4-Prof.Dr. Naci ÇAĞLAR(Sakarya Üniversitesi)
- 5-Prof.Dr. Abdulkadir ÇEVİK(Gaziantep Üniversitesi)
- 6-Prof.Dr. Seyhan FIRAT (Gazi Üniversitesi)
- 7-Prof.Dr. Hasan OKUYUCU(Yıldırım Beyazıt Üniversitesi)
- 8-Prof.Dr. Eyüp DEBİK..... (Yıldız Teknik Üniversitesi)
- 9-Prof.Dr. Yusuf TUNÇTÜRK..... (Yüzüncü Yıl Üniversitesi)
- 10-Prof.Dr. Nevzat ARTIK..... (Ankara Üniversitesi)
- 11-Doç.Dr. Hamit ADİN..... (Batman Üniversitesi)
- 12-Doç.Dr. Halef DİZLEK(Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi)
- 13-Dr. Öğr. Üyesi Yaşar AYZAZ (İnönü Üniversitesi)
- 14-Dr. Öğr. Üyesi Aysun ŞENER.....(Adana Bilim Teknoloji Üniversitesi)

DANIŞMA KURULU/ ADVISORY BOARD

- 1-Prof. Dr. Şemsettin TEMİZ(İnönü Üniversitesi)
- 2-Prof. Dr. Ergün ERÇELEBİ.....(Gaziantep Üniversitesi)
- 3-Prof. Dr. İbrahim TÜRKMEN(İnönü Üniversitesi)
- 4-Prof. Dr. Naci ÇAĞLAR(Sakarya Üniversitesi)
- 5-Prof. Dr. Abdulkadir ÇEVİK.....(Gaziantep Üniversitesi)
- 6- Prof. Dr. Eyüp DEBİK.....(Yıldız Teknik Üniversitesi)
- 7-Doç. Dr. Sema Koç KAYHAN.....(Gaziantep Üniversitesi)

ALAN EDİTÖRLERİ / SECTION EDITORS

Prof. Dr. Murat Pala	pala@adiyaman.edu.tr	İnşaat Mühendisliği , Deprem, Betonarme
Prof. Dr. Atilla AKKOYUNLU	akkoyun@boun.edu.tr	Çevre Bilimleri ve Mühendisliği
Dr. Öğr. Üyesi Bayram YURT	byurt@bingol.edu.tr	Gıda Bilimleri ve Mühendisliği
Dr. Öğr. Üyesi Faruk KÜRKER	fkurker@adiyaman.edu.tr	Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Elektrik Enerjisi ve Güç Sistemleri, Elektrik Tesisleri
Doç. Dr. Mehmet Fatih DİLEKOĞLU	dilekoglu@harran.edu.tr	Çevre Bilimleri ve Mühendisliği, Çevre Kimyası, Su Kaynakları Yönetimi, Su ve atıksu arıtma
Doç. Dr. Harun TÜRKMENLER	hturkmenler@adiyaman.edu.tr	Arıtma Tesisi Tasarımı, Çevre Kimyası, Su ve atıksu arıtma, Toprak Kirliliği ve Kontrolü, Yenilenebilir Enerji Kaynakları
Doç. Dr. İsmail BOZKURT	ibozkurt@adiyaman.edu.tr	Makine Mühendisliği, Enerji, Termodinamik, Yenilenebilir Enerji Sistemleri
Prof. Dr. Kerim KÜÇÜK	kerim.kucuk@deu.edu.tr	Maden Mühendisliği, Kaya Mekaniği ve Tahkimat, Maden Tasarımı, İşletme ve Ekonomisi, Madencilik Yöntemleri ve Maden Sistem Analizi, Madenlerde İş Güvenliği ve İşçi Sağlığı
Dr. Öğr. Üyesi Miraç UÇKUN	m.uckun@adiyaman.edu.tr	Gıda Bilimleri ve Mühendisliği
Arş. Gör. Dr. Musa EŞİT	mesit@adiyaman.edu.tr	Atmosfer Bilimleri, Hidroloji
Doç. Dr. Mustafa ASLAN	maslan@harran.edu.tr	Su ve atıksu arıtma, Yenilenebilir Enerji Kaynakları
Arş. Gör. Dr. Saadin OYUCU	saadinoyucu@adiyaman.edu.tr	Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği, Bilgisayar Sistem Yazılımı, Bilgisayar Yazılımı, Gömülü Sistemler, Veri Tabanları, Yapay Zeka
Dr. Öğr. Üyesi Senem TEKİN	senemtekin@adiyaman.edu.tr	Yer Bilimleri ve Mühendisliği, Deprem, Uygulamalı Jeoloji
Doç. Dr. Şerif ÇİTİL	scitil@adiyaman.edu.tr	Makine Mühendisliği
Doç. Dr. Seval UYANIK	suyanik@adiyaman.edu.tr	Tekstil Bilimleri ve Mühendisliği
Arş. Gör. Dr. Yavuz KAHRAMAN	ykahraman@adiyaman.edu.tr	Endüstri Mühendisliği, Yapay Öğrenme, Yapay Zeka, Çok kriterli Karar verme, Karar Destek Sistemleri
Doç. Dr. Zuhale KARAGÖZ	zgenc@adiyaman.edu.tr	Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
Arş. Gör. Abuzer DOĞAN	abuzerdogan@adiyaman.edu.tr	Bilgisayar Mühendisliği

İÇİNDEKİLER- CONTENTS

1-Çekirdeklendirici Ajanlar, Uyumlaştırıcılar Ve Antioksidanların Geri Dönüştürülmüş Polipropilen Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi– “Araştırma Makalesi”

Investigation Of The Effects Of Nucleating Agents, Harmonizators And The Antioxidants On Recycled Polypropylene – “Research Article”

Eray EREM, Tolga GÖKKURT..... 1-22

2-Pem Tipi Yakıt Hücreleri İçin İmidazol Fonksiyonel Silika / Poli (Glisidil Metakrilat) Nanokompozit Membranların Üretilmesi Ve Karakterizasyonu– “Araştırma Makalesi”

Preparation And Characterization Of Imidazole Functional Silica Incorporated Poly (Glycidyl Methacrylate) As Nanocomposite Pemfc Membrane– “Research Article”

Ayşe Aslan, Sedef KAPTAN USUL.....23-33

3-Türkiye’nin Enerji Talebini Tahmin Etmek İçin Tulumlular Sürü Algoritmasına Dayalı Bir Uygulama – “Araştırma Makalesi”

An Application Based On The Tunicate Swarm Algorithm For Prediction The Energy Demand Of Turkey – “Research Article”

Murat ASLAN.....34-46

4-Derin Sahte Videoların Tespiti Ve Uygulamaları İçin Bir Karşılaştırma Çalışması– “Araştırma Makalesi”

A Comparison Study For The Detection And Applications Of Deepfake Videos– “Research Article”

İsmail İLHAN, Mehmet KARAKÖSE 47-60

5-Erzincan 112 Acil Çağrılarının Coğrafi Bilgi Sistemleri Ve Farklı İstatistiksel Analiz Yöntemleri İle Modellenmesi – “Araştırma Makalesi ”

Evaluation Of 112 Emergency Calls Of Erzincan With Geographical Information Systems And Modeling With Different Statistical Analysis Methods – “Research Article”

Mehmet Oğuzhan GÜREL, Halim Ferit BAYATA, Osman Ünsal BAYRAK 61-76

6-Benzine Uygulanan Manyetik Alanın Egzoz Emisyonlarına Etkileri– “Araştırma Makalesi ”

Effects Of Magnetic Field Applied To Gasoline To The Exhaust Emissions– “Research Article”

Ömer Faruk DEMİRTAŞ, Tarkan KOCA..... 77-87

7-Sandık Kesitli Betonarme Köprülerin Taşıt Yüğü Etkisindeki Yapısal Davranışı– “Araştırma Makalesi ”

Structural Behavior of Reinforced Concrete Bridges with Box Girder under the Influence of Vehicle Load– “Research Article”

Enes Miraç KARADAĞ, Murat PALA..... 88-104

8-Ansys@Maxwell Kullanılarak Transformatörlerin Ani Akımlar Durumunda Meydana Gelen Elektrik Alan Analizlerinin Gerçekleştirilmesi – “Araştırma Makalesi ”

Using Ansys@Maxwell, The Realization Of The Electric Field Analysis Of Transformers In The Case Of Instant Currents– “Research Article”

Yıldırım ÖZÜPAK 105-116

9-Fıstık Küspesinden Anaerobik Fermantasyonla Biyohidrojen Ve Biyogaz Elde Edilmesi Ve Optimum pH'nın Belirlenmesi– “Araştırma Makalesi ”

Obtaining Biohydrogen And Biogas From Peanut Pulp By Anaerobic Fermentation And Determining The Optimum pH– “Research Article”

Mustafa GÜMÜŞ , Mustafa ASLAN, Harun TÜRKMENLER..... 117-126

10-Üniversitede Çevre Yönetim Oryantasyon Programı Uygulaması: Adıyaman Üniversitesi Örneği– “Araştırma Makalesi ”

Environmental Management Orientation Program Application In University: Adıyaman University Case– “Research Article”

Büşra KUŞ, Güray KARACIL, Kamil B. VARINCA..... 127-141

11-Bio Çekirdekli Sandviç Yapıların Kenar Basma Mukavemeti Davranışlarının Araştırılması– “Araştırma Makalesi ”

Investigation Of Edgewise Compression Strength Of Bio-Core Sandwich Structures– “Research Article”

Tuğberk ÖNAL, Şemsettin TEMİZ 142-153

12-Tıbbi Görüntülerin Güvenliği İçin İlgi Olmayan Bölgelerde Kenar Tabanlı Damgalama– “Araştırma Makalesi ”

Edge-Based Watermarking In None Region Of Interests For The Security Of Medical Images– “Research Article”

Rukiye KARAKIŞ , Kali GÜRKAHRAMAN 154-168

13- *Unsupervised Machine Learning Algorithms To Find 3-Kcp Solution: Modularity, Clique Percolation, Spectral, Centrality, And Hierarchical Clustering– “Research Article”*

Kcp Çözüm Bulmak İçin Denetimsiz Öğrenme Algoritması: Modülerlik, Klik Süzme, Spektral, Merkeziyet Ve Hiyerarşik Kümeleme– “*Araştırma Makalesi*”

Serkan GÜLDAL 169-178

14- *Fadıl Ve Salbaş Yöresi (Adana/Türkiye) Salbaş Tüfit Ve Memişli Kumtaşı İstifinin Mikropaleontolojik Ve Paleoortamsal Özellikleri – “Araştırma Makalesi”*

Ostracod Fauna And Paleoenvironmental Properties Of The Tuffites And Memişli Member Successions In The Salbaş And Fadıl Regions (Adana/Turkey)– “Research Article”

Ümit ŞAFAK, Ahmet Can AKINCI , Hande SONSUN..... 179-195

15- *Manyetik Özellik Gösteren Gömülü Bir Cismin Sınır Analizi Ve Ntg Yöntemleriyle Konumunun Belirlenmesi – “Araştırma Makalesi”*

Determining The Position Of A Embedded Object With Magnetic Features By Boundary Analysis And Ntg Methods– “Research Article”

Ali ELMAS , Ali Erden BABACAN 196-202

16- *Van Ve Yöresinde Üretilen Kurutların Bazı Özelliklerinin Belirlenmesi –“Araştırma Makalesi”*

Determination Of Some Properties Of Kurut Produced In Van And Its Region– “Research Article”

İbrahim ALTUN 203-208

17- *Elektrikli Araçlarda Kablosuz Şarj Sistemleri Ve Örnek Bir Sistem İncelenmesi– “Araştırma Makalesi”*

Wireless Charging Systems In Electric Vehicles And A Sample System Investigation– “Research Article”

Uğur KIZILDAĞ , Ahmet Serdar YILMAZ..... 209-224

18- *An Automated Gunshot Audio Classification Method Based On Finger Pattern Feature Generator And Iterative Relieff Feature Selector– “Research Article”*

Türker TUNCER, Şengül DOĞAN, Erhan AKBAL, Emrah AYDEMİR..... 225-243

19- Metallotiyonein Geni Klonlanmış Rekombinant Escherichia Coli Suşlarıyla Sulu Çözeltilerden Arsenik Biyogiderimi– “Araştırma Makalesi ”

Bioremoval Of Arsenic From Aqueous Solutions With Metallothionein Gene Cloned Recombinant Escherichia Coli Strains – “Research Article”

Aysel ALKAN UÇKUN , Miraç UÇKUN, Şeyma AKKURT 244-252

20- Plc Ve Scada Entegrasyonlu Hidroelektrik Santralin Prototip Tasarımı, İmalatı Ve 3b Yazıcı İle Türbin Üretimi – “Araştırma Makalesi ”

Design, Manufacturing Of Hydroelectric Power Plant Integrated With Plc And Scada And Production Of Turbine With 3d Printer– “Research Article”

Özkan POLAT, Mustafa Can BULUT, İsacan DÖNMEZ, Koray ÖZSOY 253-267

21- Farklı Tip Ve Oranlarda Kalker Tozu Kullanılan Çimento Hamurlarında Süperakışkanlaştırıcı Dozajının Kıvama Ve Priz Sürelerine Etkileri– “Araştırma Makalesi ”

The Effects Of Superplasticizer Dosage On Consistency And Setting Times In Cement Pastes Using Different Types And Proportions Of Limestone Powder– “Research Article”

Sadık BİLEN, Murat PALA..... 268-276

22- Lokal Endemik Ribes Anatolica Behçet (Grossulariaceae) Meyvelerinin Bazı Fizikokimyasal Özellikleri, Toplam Fenolik Madde Miktarı, Antioksidan Kapasiteleri Ve Fenolik Kompozisyonunun Belirlenmesi– “Araştırma Makalesi ”

Determination Of Some Physicochemical Features , Antioxidant Capacities, Total Phenolic Content And Phenolic Composition Of Local Endemic Ribes Anatolica Behçet (Grossulariaceae) Fruits– “Research Article”

Bayram YURT, Lütfi BEHÇET, Nurullah DEMİR, A. Adnan HAYALOĞLU 277-282

ÇEKİRDEKLENDİRİCİ AJANLAR, UYUMLAŞTIRICILAR VE ANTİOKSİDANLARIN GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ POLİPROPİLEN ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Eray EREM^{1*}, Tolga GÖKKURT²

¹⁻² Polipro Plastik San. ve Dış Tic. LTD. ŞTİ. Kocaeli, 41400, Türkiye

Geliş tarihi: 08.09.2020 Kabul tarihi: 24.03.2021

ÖZET

Plastikler, hidrolitik ve biyolojik etkilere karşı yüksek direnç gibi üstün özelliklere sahip ve düşük fiyatları sebebiyle dünyamızın vazgeçilmez parçası olan bir malzeme grubudur. Bu çalışmada, geri dönüştürülmüş PP harmanlarının uyumlaştırıcı ve çekirdeklendirici katkıların kullanılması ile sektörel kullanımını arttırmak hedeflenmiştir. Geri kazanım sırasında malzemenin mekanik özellikleri kayma gerilmeleri, maruz kaldığı sıcaklık, termal ve oksidatif bozunmalar yüzünden yüksek oranlarda kayıplar yaşamaktadır. Böylece malzemenin kırılma dayanımına, kararlılığının azalmasına, yüzey özelliklerinin kötüleşmesine sebep olmaktadır. Elastomerik katkıların kullanımı ile oluşan problemlerin çekirdeklendirici katkı kullanımı ile önüne geçilmiştir. Alfa (α) tipi çekirdeklendirici katkı ile PP'nin kristalizasyon davranışının değiştirilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca proses iyileştirici olarak ikincil "antioksidan" kullanımı ile de sinerjik bir etki gözlenmiştir. Süreç neticesinde elde edilen harmanların, başta mekanik, termal ve morfolojik özellikleri incelenmiş ve detaylı şekilde irdelenerek orijinal hammadde yerine kullanım uygunluğu tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Geri dönüştürülmüş polipropilen, etilen-propilen-dien-monomer, çekirdeklendirici ajan, antioksidan

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF NUCLEATING AGENTS, HARMONIZATORS AND THE ANTIOXIDANTS ON RECYCLED POLYPROPYLENE

ABSTRACT

Plastics are a group of materials that have superior properties such as high resistance to hydrolytic and biological effects and are an indispensable part of our world due to their low prices. In this study, it is aimed to increase the sectoral use of recycled PP blends by using harmonizing and nucleating additives. During recovery, mechanical properties of the material experience high losses due to the shear stresses, the temperature it is exposed to, and thermal and oxidative degradation. Thus, it causes the material to be brittle, to decrease its stability and to deteriorate its surface properties. The addition of elastomer caused losses in mechanical properties such as tensile strength, modulus of elasticity, and hardness. It is prevented the problems due to use elastomeric additives with the use of nucleating agents. It is aimed to change the crystallization behavior of PP with alpha (α) type nucleating additives. In addition, a synergistic effect was observed with the use of secondary "antioxidants" as process improvers. As a result of process, the mechanical, thermal and morphological properties of the blends obtained were examined in detail, and their substitutability was discussed for the original raw material.

Keywords: Recycled polypropylene, ethylene-propylene-diene-monomer, nucleating agent, antioxidant.

* e-mail: erayerem23@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4158-4191> (Sorumlu Yazar),

e-mail: tolga.gokkurt@hotmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4349-9430> ,

1. Giriş

Plastik malzemeler düşük yoğunluk, yüksek mukavemet, üretim kolaylığı ve düşük maliyet gibi özelliklere sahip olması ile yıllardır dünyanın ilgisini çekmiş ve her geçen gün üretimi üssel olarak artmaya devam etmiştir. Plastikler çoğunlukla kullan-at diye isimlendirilmiş tek kullanımlık ürünlerin önemli bir miktarını oluşturmaktadır. Tüketilen plastik miktarı sahip olduğu özellikler dolayısıyla istikrarlı bir şekilde artmaktadır. Dolayısıyla hem sanayi hem de hane halkı içerisinde çok fazla plastik atık ortaya çıkmaktadır. Günümüzde üretilen plastik miktarının 360 milyon ton/yıl olduğu öne sürülmektedir. Bu üretilen plastiklerin %50'si poliolefin grubu içerisinde yer almaktadır ve en göze çarpan konular ambalaj, torba ve kap gibi tek kullanımlık plastik ürünleri içermektedir. Mükemmel geri dönüşüm özelliklerine sahip poliolefinler yeniden kullanımı ve geri dönüşüme olan ilgiyi motive etmiştir. Ne yazık ki, uygun atık yönetimi stratejileri plastik atıklarının artan düzeyleriyle aynı oranda gelişmemektedir. Oluşan bu atıkların 1950 ve 2015 yılları arasında %6,3'ü geri dönüştürülmüş, %12'si yakılmış, %79'u ise çöp olarak depolanmış veya çevreye atık olarak bırakılmıştır ayrıca bu raporlarda şimdiye kadar toplam 6,3 milyar ton atık söz konusu olduğu vurgulanmaktadır. [1], [2]

Geri dönüşüm, bu çevresel kirliliği azaltma sürecinde en etkili ve faydalı yöntemlerdendir. Fakat geri dönüştürülmüş malzemelerin mekanik ve diğer özellikleri farklı plastikler arasındaki uyumsuzluk sebebiyle zayıf kalmaktadır. Atık plastikler yüksek miktarda polietilen (PE) ve polipropilen (PP) içerirken, az miktarlarda polivinilklorür (PVC), polistiren (PS) ve polietilentereftalat (PET) içermektedir. Ambalaj atıklarında bu polimerler katmansal olarak bütünleşik oluşturulduğu için geri dönüşüm süreçleri öncesi ayrıştırma yapılamamaktadır. Bu sorun geri dönüşüm sürecinde atıkların ayrıştırma yapılmadan kullanımına zorlamaktadır. Ayrıştırma yapılmaksızın kullanılan bu harmanlarda yapışma ve uyumsuzluk problemi ile karşılaşmaktadır. Bu problemin çözülerek dünyada büyük bir yer kaplayan harmanların, geri dönüşüm süreçlerine entegre edilmesi ve çevre kirliliğini yüksek oranda düşürülmesi gerekmektedir. Edinilen birçok kaynakta bu atıktaki polimerlerin yapışma ve uyumluluk problemi için uyumlaştırıcılar kullanılması ile geliştirilebilmektedir.[3] Ayrıca oluşan harmanların yeni özelliklere sahip polimerlerin eldesi için birçok araştırmaya konu olmuştur.

PP/PE (polipropilen/polietilen) harmanları, ucuz, bol ve kolayca işlenebildikleri için daha fazla rağbet görmektedir. [4]–[6] Her ne kadar kolay ucuz ve kolay işlenebilir olsa da PP/PE (polipropilen/polietilen) harmanlarının erime sıcaklıkları arasındaki farklılık sebebiyle bu iki polimerin harmanlanması, fiziksel ve mekanik özellikleri zayıf olan uyumsuz harman eldesi ile sonuçlanır. Bu nedenle iki polimer arasındaki uyumluluğu arttırmak için uyumlaştırıcı kullanılır. [7], [8] PP/PE harmanları, sadece polimerin işleme ve mekanik özelliklerini iyileştirmek için değil, aynı zamanda bu harmanların geri dönüşüm fırsatlarını genişletmek için büyük araştırma ve ekonomik ilgi alanına girmiştir. [9], [10]

1980'lerden beri, önemli miktarda çalışma, karışık polipropilen (PP) ve polietilenlerin (PE) mekanik özelliklerinin incelenmesine odaklanmıştır. Harmanlamanın etkinliği esas olarak harmanlanmış bileşenlerin karışabilirliğine veya karışmazlığına bağlıdır. PP ve HDPE'nin yanı sıra PP ve düşük yoğunluklu polietilenin (LDPE) herhangi bir karıştırma oranında genellikle karışmaz olduğu düşünülür ve soğutma ve kristalleştirme sırasında bu tür karışımların son özelliklerini yansıtan dikkate değer bir faz ayrımı gösterir. Polimer harmanlarında, kristalizasyon işleminin morfolojik özellikleri, termal ve mekanik özellikleri üzerinde önemli bir etkisi olabilir. Yarı kristal polimerler, polipropilen (PP) ve polietilenler (PE), farklı katmanlı kalınlıklara ve mükemmeliyet derecelerine sahip kristallerden oluşur. Bu polimer harmanlarındaki kristalizasyon kinetikleri, iki bileşenin farklı kristalleşme davranışına göre çok karmaşıktır. Bunlar arasında birincil çekirdeklerin üretimi, yüzey çekirdeklerinin oluşumu ve yayılması ve büyüyen kristalin ilerleyen cephesinde kristalleşebilir ve kristalleşemez zincirlerin interfüzyonu bulunur. [11], [12]

PP/PE (polipropilen/polietilen) karışımları söz konusu olduğunda, farklı tipte zincir yapılarına sahip erimiş polietilenler (PE) genellikle karışmaz. Daha yüksek ergime noktasına sahip PE küreleri, kristalizasyon sırasında diğer polietilenlerin kapsülleri ile kapsülendir. Böylece, bir bileşenin

kristalleşme noktasının altına soğutulduktan sonra, karışımların morfolojisi kristalin yapı içinde sabitlenir. PP ve PE'lerin fiziksel özellikleri, nihai ürünün mekanik özelliklerini doğrudan yöneten bu tür faz ayrılmasının saptanmasına imkân vermeyecek kadar benzerdir. [13]

Başta da belirtildiği gibi harman bileşenlerinin karışabilirliğini arttırmak için bir uyumlaştırıcı eklenebilir. Uyumlaştırıcı ara yüzey gerginliğini azaltır ve karışmayan fazlar boyunca yapışmayı artırır. [14] Polimerlerin eriyik harmanlanması yoluyla reaktif uyumlaştırmanın, harman bileşenlerinin fonksiyonel grupları arasındaki spesifik etkileşimleri kolaylaştırdığı için etkili bir yol olduğu bulunmuştur. Bu geri dönüştürülmüş harmanlar ambalaj sektöründe tekrardan kullanılabilir. [15], [16]

Görüldüğü üzere plastik ambalajların geri dönüşümü, sınırlı kaynakları koruma ve çevreyi plastik atıklardan koruma ihtiyacı nedeniyle giderek daha önemli hale gelmektedir. Ne yazık ki, çok katmanlı paketler çoğunlukla yakılmış veya düzenli depolama alanı olarak geri dönüştürülmüştür. [17]

Birçok çalışmada görüldüğü gibi PP/PE harmanları için tam bir uyumlaştırma gözlemlenmemektedir. Dünyamızın plastik atıklarının %50'sini kapsayan bu grup plastikler için daha fazlaya çalışmaya gerek duyulduğu aşikardır. Çalışmanın ana amaçlarından birisi de bu ambalaj atıklarının ayrıştırma gerek kalmaksızın EPDM (etilen-propilen-dien monomer), çekirdeklemeye ajanları ve antioksidanların kullanımı ile uyumsuzluk sorunun üstesinden gelip, çevre kirliliğinin büyük bir bölümünü oluşturan bu atıkların geri dönüşüme entegre edilmesidir.

2. Materyal ve yöntem

2.1. Malzemeler

O-Polipropilen (OPP) ve bebek bezi üretim sonrası atıkları, plastik geri dönüştürücü tek vidalı ekstrüder kullanılarak elde edilen plastik granüller, erime akış endeksi 15 g/10 dk (MFI; 230 °C, 2,16 kg) olan ana polimer matrisi olarak kullanılmıştır ve yoğunluk 0,92 g/cm³ olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, bebek bezi atıkları 20 g/10 dk MFI değerine sahipken, OPP atıkları yaklaşık 8 g/10 dk MFI değerine sahiptir. Şekil 1 ve 2'de bebek bezi ve OPP atıklarının fotoğrafları bulunmaktadır. Ayrıca Şekil 3'te OPP ve bebek bezi atıklarının ekstrüder sonrası elde edilen ana polimer matrisinin granül hali bulunmaktadır.



Şekil 1. Bebek bezi atıkları



Şekil 2. OPP ambalaj atıkları



Şekil 3. Geri dönüştürülmüş granüller

Elastomerik katkı maddesi olarak kullanılan etilen-propilen-dien-monomer (EPDM), EPT ticari adıyla Mitsui Chemicals tarafından granül olarak tedarik edilmiştir. Farklı kalitelere değişen oranlarda etilen ve dien bulunduran 3092 PM, mooney viskozitesi 61 mL (1 + 4) 125 °C olan yağsız

genişletilmiş dereceye yerleştirilir. %65 etilen ve %4,6 dien; ayrıca düşük eriyik akış indeksine ve dar moleküler ağırlık dağılımına sahiptir.

Üç tip çekirdekleştirici madde kullanılmıştır. Farklı kimyasal formülleri vardır. ADK STAB NA-11UH, Adeka tarafından tedarik edildi. Kimyasal adı Sodyum 2,2'-Metilenbis-(4,6-di-tert-butilfenil) fosfattır. Diğer çekirdekleştirici ajanlar Miliken tarafından Hyperform ticari ismi ile tedarik edilmiştir. HPN 68L, dikarboksilat Na bazlı bir bileşik içeren toz haline getirilmiş katı çekirdekleştirici bir maddedir. HPN 20E, toz halinde katı çekirdekleştirici bir ajan "Ca HHPA" içerir.

İşlem stabilizatörü olarak kullanılan ikincil antioksidan Ciba tarafından Irgafos 168 ticari ismi ile temin edilmiştir. Kimyasal adı Tris (2.4-di-tert-butilfenil) fosfittir.

2.2. Geri Dönüşüm Sonrası elde edilen Granüllerin Çift Vidalı Ekstrüder ile Bileşim Hazırlama

Vida çapı 27 mm ve L/D oranı 48:1 oranına sahip çift vidalı ekstrüder bu işlem için kullanılmıştır. Şekil 4'de verilen bileşim hazırlama süreçlerinde kullanılan çift vidalı ekstrüderin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 4. Eriyik harmanlama tekniğine uygun çift vidalı ekstrüder hattı

Bu ekstrüderde bir hacimsel ana besleyici, iki hacimsel yan besleyici, gaz giderme ünitesi, su banyosu ve sabit uzunlukta peletleyici bulunur. Kapalı varil sisteminde ek sıcaklık ve basınç ölçüm noktaları bulunur. Her bir modüler namlu bölgesine bağlanan ve termoregülatör tarafından kontrol edilen elektrik rezistansları ve su soğutma kanalları, ayarlanan sıcaklığın kontrol edilmesinde önemli rol oynar. ± 1 °C hassasiyete sahip 13 sıcaklık bölgesi vardır. Polimerik malzemeler, ısı ve basıncın etkisiyle varillerde erir. Birleştirme sırasında oluşan gazlar çıkarılır ve bir gaz giderme ünitesi 12.

namlu bölgesindeki hortumlarla vakum pompasına bağlanır. Kalıp, ekstrüderin ön ucunda beş telli bir delik ile gerçekleşir. Polimer eriyiği ekstrüderden çıkarlar sonra su banyosuna soğutulur ve sabit uzunluktaki peletleyici veya doğrayıcı ile granül eldesi sağlanır.

Kullanılan ekstrüder, birleştirme işlemi için yüksek kesme ve yüksek kalış süresi ile iyi erime ve karıştırma sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Vida boyunca çeşitli konfigürasyon türlerine sahiptir. Bu çalışmada kullanılan vida konfigürasyonu 9 taşıma bloğu, 7 yoğurma bloğu ve katı taşıma bölgesi, plastikleştirme bölgesi, eriyik taşıma bölgesi, homojenleştirme bölgesi, gaz giderme bölgesi, basınç oluşturma bölgesi içerir. Hammadde ilk taşıma bölgesi tarafından alınır, daha sonra malzeme plastikleştirilir ve eriyik, aşağıdaki üç yoğurma ve dört taşıma bölgesi boyunca elde edilir. Daha sonra eriyik üç yoğurma ve dört taşıma bloğu ile homojenleştirilir. Son olarak, birleştirme sırasında oluşan gazlar, gaz giderme bölgesinde uzaklaştırılır.

Kullanılan EPDM, çekirdeklendirme ajanları ve antioksidanların yüzdeleri değiştirilerek RPP (geri dönüştürülmüş polipropilen) bazlı bileşiklerin formülizasyon tablosu Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Hazırlanan geri dönüşüm esaslı RPP bazlı bileşiklerin formülizasyon tablosu

<i>Kod</i>	<i>RPP</i>	<i>3092 PM</i>	<i>NA-11UH</i>	<i>HPN-68L</i>	<i>HPN-20E</i>	<i>Irgafos-168</i>
R1	100	-	-	-	-	-
R2	95	5	-	-	-	-
R3	90	10	-	-	-	-
R4	99,5	-	0,5	-	-	-
R5	99,5	-	-	0,5	-	-
R6	99,5	-	-	-	0,5	-
R7	99,8	-	-	-	-	0,2
R8	99,3	-	0,5	-	-	0,2
R9	99,3	-	-	0,5	-	0,2
R10	99,3	-	-	-	-	0,2
R11	94,5	5	0,5	-	0,5	-
R12	94,5	5	-	0,5	-	-
R13	94,5	5	-	-	0,5	-
R14	89,5	10	0,5	-	-	-
R15	89,5	10	-	0,5	-	-
R16	89,5	10	-	-	0,5	-
R17	94,8	5	-	-	-	0,2
R18	89,8	10	-	-	-	0,2
R19	94,3	5	0,5	-	-	0,2
R20	94,3	5	-	0,5	-	0,2
R21	94,3	5	-	-	0,5	0,2
R22	89,3	10	0,5	-	-	0,2
R23	89,3	10	-	0,5	-	0,2
R24	89,3	10	-	-	0,5	0,2

2.3. Karakterizasyon

2.3.1. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) ile Termal Analizler

Atıkların ve geri dönüşüm sonrası elde edilen örneklerin termal özelliklerinin karakterizasyonu ve bu özelliklere bağlı yapısal bileşimlerinin tayini için ISO 11357-3:2018 standartına uygun olarak Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) analizleri gerçekleştirilmiştir.

Bütün ölçümler, örneklerin termal bozulmasını engellemek için 50 mL/dak azot atmosferi altında gerçekleştirilmiştir. Alüminyum bir kroze içerisindeki 9-10 mg ağırlığındaki numuneler, 10 °C/dk ısıtma hızı ile 300 °C'ye ısıtılmış ve örneklerin termal geçmişini silmek amacı ile bu sıcaklıkta 5 dk beklenilmiştir. Daha sonra kristalizasyon davranışlarının karakterizasyonu için örnekler 5 °C/dk hız ile 23 °C'ye soğutulmuştur. Bu soğutma sürecinde, örneklerin kristalizasyon sıcaklığı (Tc) ile buna karşılık gelen kristalizasyon entalpileri (ΔH_c) belirlenmiştir. Eriyik kristalleşme davranışı olarak da tanımlanabilen bu sürecin sonrasında, numuneler 5 dk süre ile 23 °C sıcaklık değerinde bekletilmiş ve 5 °C/dk ısıtma hızı ile tekrar 300 °C'ye ısıtılmıştır. Bu ısıtma sürecinde ise örneklerin erime sıcaklığı (Tm) ile buna karşılık gelen erime entalpileri (ΔH_m) tespit edilmiştir.

2.3.2. Çekme ve Darbe Testleri ile Mekanik Özellik Analizleri

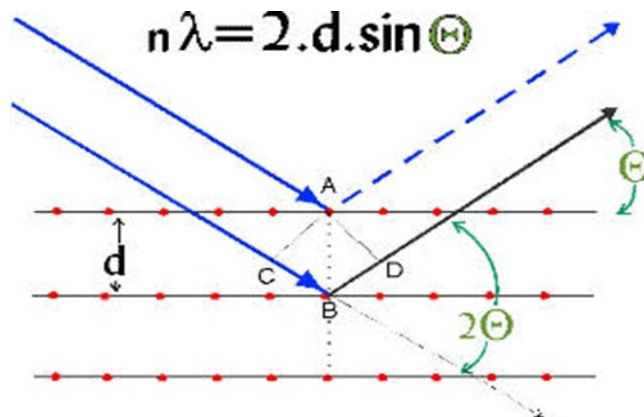
Örneklerin çekme mukavemeti, elastisite modülü ve kopma uzaması gibi yapısal uygulamalar için önem arz eden mekanik özellikleri Zwick/Roell Z200 üniversal çekme cihazı kullanılarak oda sıcaklığında ISO 527-2:2012 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Testlerde 10 mm/dk çekme hızı uygulanmış olup her örnek için en az 5 farklı test numunesi kullanılmıştır. Yapısal uygulamalar için önem arz bir diğer mekanik özellik olan darbe mukavemet değeri ise Izod çentikli darbe mukavemeti olarak isimlendirilen ISO 180:2019 standartına göre gerçekleştirilmiştir.

2.3.3. Eriyik Akış İndeksi, Yoğunluk ve Sertlik Ölçümü ile Fiziksel Özellik Analizleri

Örneklerin fiziksel özellik analizleri altında, eriyik akış indeksi (MFI) değerleri ISO 1133-1:2012 standartına, yoğunluk ölçümleri ISO 113-1:2019 standartına, sertlik ölçümleri ise ISO 868:2003 standartına göre gerçekleştirilmiştir.

2.3.4. X-Işını Difraktometresi (XRD) ile Analizler

Örneklerimizin XRD analizi Rigaku R-AXIS RAPID-S X-ışını difraktometresi kullanılarak yapılmıştır. Analizler 45 kV, 40 mA gerilim de $\text{CuK}\alpha$ radyasyonu (dalga boyu = 1,5405 Å = 0,15405 nm) 2θ tarama hızında 2 °/dk ile 10-45 aralığında yapılmıştır. Analiz sonuçları, Şekilde gösterildiği gibi "Bragg Yasası" denklemi kullanılarak hesaplandı. "n", verilen sırayla belirlenen bir tamsayıdır, λ x-ışınlarının dalga boyu ve hareketli elektronlar, protonlar ve nötronlardır; d, atomik kafesteki düzlemler arasındaki aralıktır ve θ , olay ışını ile saçılma düzlemleri arasındaki açıdır.



Şekil 5. Bragg yasası

2.3.5. Polarize Mikroskop (POM)

Örneklerin morfolojileri Nikon, Eclipse LV100 polarize mikroskobu kullanılarak incelenmiştir. Çalışmada POM bağlantılı -80 °C ile 400 °C sıcaklık aralığında çalışabilen sıcak aşama kullanılmıştır. DSC diyagramları referans alınarak ısıtma ve soğutma limitleri belirlenmiştir. Numuneler oda sıcaklığından 250 °C'ye ısıtıldıktan sonra 10 dk sabit sıcaklıkta bekletilip sıvı nitrojen kullanılarak 1 C/dk soğutma hızı ile 250 °C'den 110 °C'ye soğutulmuştur. Böylelikle kristalleşme davranışı ve sferülit büyümeleri daha iyi gözlemlenebilmektedir. Görüntüler 140 °C'den 110 °C'ye 50 µm yakınlaştırma oranıyla alınmıştır.

3. Bulgular ve Tartışmalar

3.1. Eriyik Akış İndeksi, Yoğunluk ve Sertlik Ölçümü ile Fiziksel Özellik Analizleri

Test sonuçları, EPDM gibi katkı maddelerinin kullanılması nedeniyle bileşiklerin yoğunluk değerlerinin hemen hemen aynı olduğunu, çekirdekleştirici ajanlar ve/veya antioksidanların dolgu maddesi olmadığını, bu durumda numunelerin yoğunluklarının etkilenmediğini göstermiştir. Geri dönüştürülmüş Polipropilen 0,92 g/cm³ yoğunluğa sahiptir ve EPDM/N.A/A.O içeren bileşikler yaklaşık 0,93 veya 0,94 g/cm³'e sahiptir, bu nedenle sonuçlar yoğunluk değerleri açısından RPP bazlı bileşikler için önemli bir fark olmadığını göstermiştir.

MFI test sonuçları, EPDM'nin artan yükleme seviyesi ile bir düşüş gösterdi. Geri dönüştürülmüş polipropilenin MFI değeri 15 g/10 dk'dır. %5 EPDM yüklemesi MFI'yi 9,1 g/dk'ya düşürdü ve %10 EPDM yüklemesi MFI'yi 8,4 g/10 dk'ya kadar düşürdü. Bununla birlikte, çekirdekleştirici ajan türleri RPP'ye göre yaklaşık 0,2 g/10 dk azalmaya neden olurken, antioksidan Irgafos 168 0,3 g/10 dk azalmaya neden olur; bu nedenle bu sapmalar ihmal edilebilir.

Tablo 2. Hazırlanan geri dönüşüm esaslı RPP bazlı bileşiklere ait eriyik akış indeksi, yoğunluk ve sertlik değerleri

<i>Numuneler</i>	<i>Eriyik Akış İndeksi (g/10dk)</i>	<i>Yoğunluk (g/cm³)</i>	<i>Sertlik (Shore D)</i>
R1	15 ± 0,8	0,92 ± 0,01	72±1
R2	9,1 ± 0,5	0,92 ± 0,02	67±1
R3	8,4 ± 0,6	0,93 ± 0,01	68±1
R4	14,7 ± 0,9	0,94 ± 0,01	72±1
R5	14,8 ± 0,5	0,94 ± 0,01	73±1
R6	14,7 ± 0,9	0,94 ± 0,01	73±1
R7	14,7 ± 0,8	0,94 ± 0,02	73±1
R8	14,9 ± 0,7	0,93 ± 0,01	73±1
R9	14,8 ± 0,3	0,94 ± 0,01	74±1
R10	14,9 ± 0,2	0,93 ± 0,02	74±1
R11	9,3 ± 0,6	0,94 ± 0,02	71±1
R12	9,5 ± 0,4	0,93 ± 0,02	72±1
R13	9,5 ± 0,7	0,93 ± 0,01	72±1
R14	8,2 ± 0,7	0,94 ± 0,01	69±1
R15	8,6 ± 0,9	0,94 ± 0,01	70±1
R16	8,4 ± 0,7	0,93 ± 0,02	70±1
R17	9,6 ± 0,6	0,94 ± 0,01	71±1
R18	8,1 ± 0,5	0,93 ± 0,01	70±1
R19	9,2 ± 0,9	0,94 ± 0,01	71±1

R20	9,3 ± 0,8	0,93 ± 0,02	72±1
R21	9,4 ± 0,5	0,94 ± 0,01	72±1
R22	8,1 ± 0,8	0,94 ± 0,01	70±1
R23	8,5 ± 0,3	0,93 ± 0,01	71±1
R24	8,2 ± 0,4	0,94 ± 0,02	71±1

Tablo 2. Devamı

Değişken oranlarda EPDM, çekirdeklendirici maddeler ve antioksidanın RPP bileşiklerinin sertlik özelliği üzerindeki etkilerini değerlendirmek için Shore-D sertlik testi yapılmıştır.

Sonuçlar %5 ve %10 EPDM eklendiğinde sertliğin azaldığını gösterdi. RPP'nin sertlik değeri 72 Shore-D iken, ilave edilen bileşik %10 EPDM 67 Shore-D sertliğine sahipti. Tekli karışımlarda hem çekirdekleştirici ajanlar hem de antioksidan sertlik değerini artırmıştır. İkili ve üçlü karışımlarda, çekirdeklendirici maddeler ve antioksidan, sadece EPDM eklenen mono karışımlara kıyasla Shore-D sertlik değerini benzer şekilde artırmıştır.

3.2. X-Işını Difraktometresi (XRD) ile Analizi

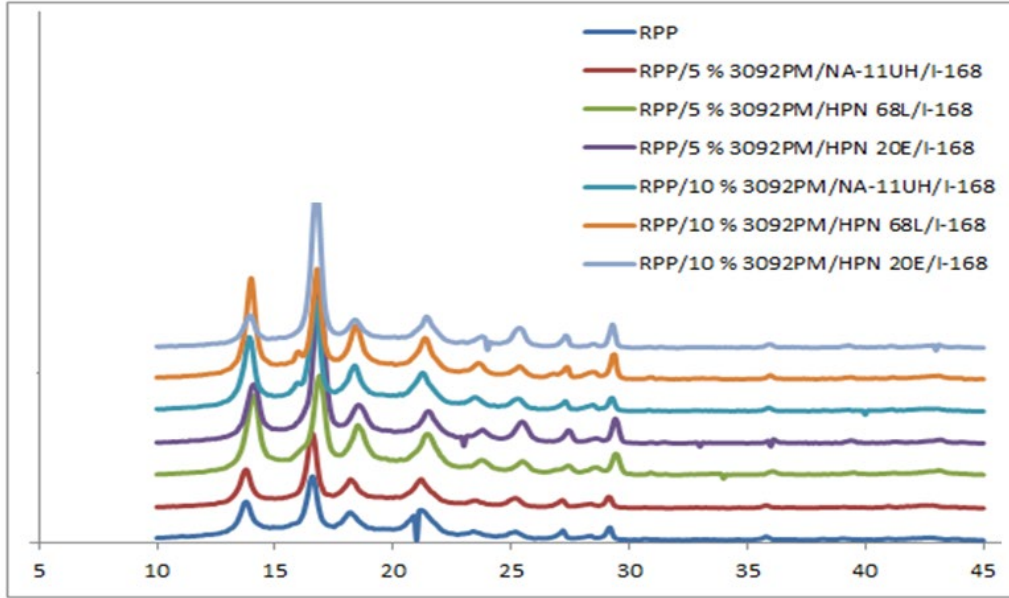
Çekirdekleştirici maddenin kristalleşme davranışı üzerindeki etkisi XRD sonuçlarına göre belirlendi. Nükleasyon ajanı, geri dönüştürülmüş PP'nin "θ" açılarını ve yoğunluklarını değiştirmiştir. Şekil 6'da α-NA katkı maddeleri, monoklinik yapının göstergesi olarak daha yüksek θ ve gerilim değerine neden olmuştur. Ayrıca XRD analizi sonuçları Tablo 3 ve Tablo 4'de verilmektedir.

Tablo 3. İlk pik ve ikinci pik için numunelerin X-ışını kırınım analizinin test sonuçları

Kod	İlk pik sonuçları			ikinci pik sonuçları		
	2θ (°)	Gerilim	d	2θ (°)	Gerilim	d
R1	13,8	1933	6,42	16,6	3118	5,34
R19	13,8	1938	6,42	16,6	3624	5,34
R20	14,1	3920	6,28	16,9	4844	5,24
R21	14,1	2946	6,28	16,9	7728	5,24
R22	13,9	3653	6,36	16,7	5384	5,30
R23	14	4911	6,33	16,8	5330	5,28
R24	14	1635	6,33	16,8	7588	5,28

Tablo 4. Üçüncü pik ve dördüncü pik için numunelerin X-ışını kırınım analizinin test sonuçları

Kod	Üçüncü pik sonuçları			Dördüncü pik sonuçları		
	2θ (°)	Gerilim	d	2θ (°)	Gerilim	d
R1	18,2	1438	4,87	21,1	1543	4,19
R19	18,2	1488	4,87	21,2	1494	4,19
R20	18,5	2524	4,79	21,5	2107	4,13
R21	18,5	1966	4,79	21,5	1673	4,13
R22	18,4	2316	4,82	21,2	1954	4,19
R23	18,4	2667	4,81	21,4	2094	4,15
R24	18,4	1476	4,82	21,4	1608	4,15



Şekil 6. XRD sonuçlarının karşılaştırılması

3.3. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) ile Termal Analizler

Diferansiyel taramalı kalorimetri test sonuçları Tablo 5'de verilmiştir. DSC diyagramları, geri dönüştürülmüş PP'nin tüm karşılaştırmalı diyagramlarda gösterildiği gibi yaklaşık %5 polietilen içerdiğini göstermiştir. α - çekirdekleştirici ajanların etkisi, diyagramlarda kristalleşme davranışı açısından açıkça görülmüştür.

Tablo 5. Hazırlanan geri dönüşüm esaslı RPP bazlı bileşiklerin erime ve kristalizasyon sıcaklıkları ve entalpileri

Numuneler	T_c (°C)	T_m (°C)	ΔH_c (J/g)	ΔH_m (J/g)
R1	121	163	55	34
R2	122	163	62	54
R3	121	166	63	52
R4	130	163	76	62
R5	129	165	62	51
R6	130	165	53	44
R7	121	166	55	47
R8	131	164	73	60
R9	131	163	68	57
R10	126	165	59	54
R11	131	164	72	60
R12	131	163	57	50
R13	126	164	64	56
R14	131	166	65	53
R15	132	162	60	50

R16	127	165	63	56
R17	122	164	61	55
R18	122	163	62	54
R19	130	164	66	57
R20	132	165	67	52
R21	125	164	55	50
R22	130	164	56	50
R23	132	165	46	39
R24	127	164	58	52

Tablo 5. Devamı

DSC sonuçlarından; Çekirdekletirici ajanların kristalleşme sıcaklığını artırdığı ve çekirdekli örneklerin geri dönüştürülmüş PP'ye göre daha erken kristalleşmeye başladığı görülmüştür. Mono karışımlar eklenen α -NA'lar, RPP'ye kıyasla daha yüksek kristalleşme sıcaklıklarına sahiptir. RPP 121,22 °C'de kristalleşmeye başlarken tekli karışımlar eklenen α -NA'lar 129 °C'nin üzerinde kristalleşmeye başlamıştır.

İkili ve üçlü karışımlarda mono karışımlarda görülen aynı α -NA etkisi gözlemlendi, çekirdekli örnekler geri dönüştürülmüş PP'ye göre daha erken kristalleşmeye başlamıştır. Çekirdekletirici ajan türleri, kristalleşme sıcaklıkları üzerinde farklı etkiler göstermiştir. HPN 20E ikili ve üçlü karışımlarında kristalizasyon sıcaklığını yaklaşık 126 °C'ye çıkarırken, mono karışımında kristalizasyon sıcaklığını 129 °C'ye kadar yükseltmiştir.

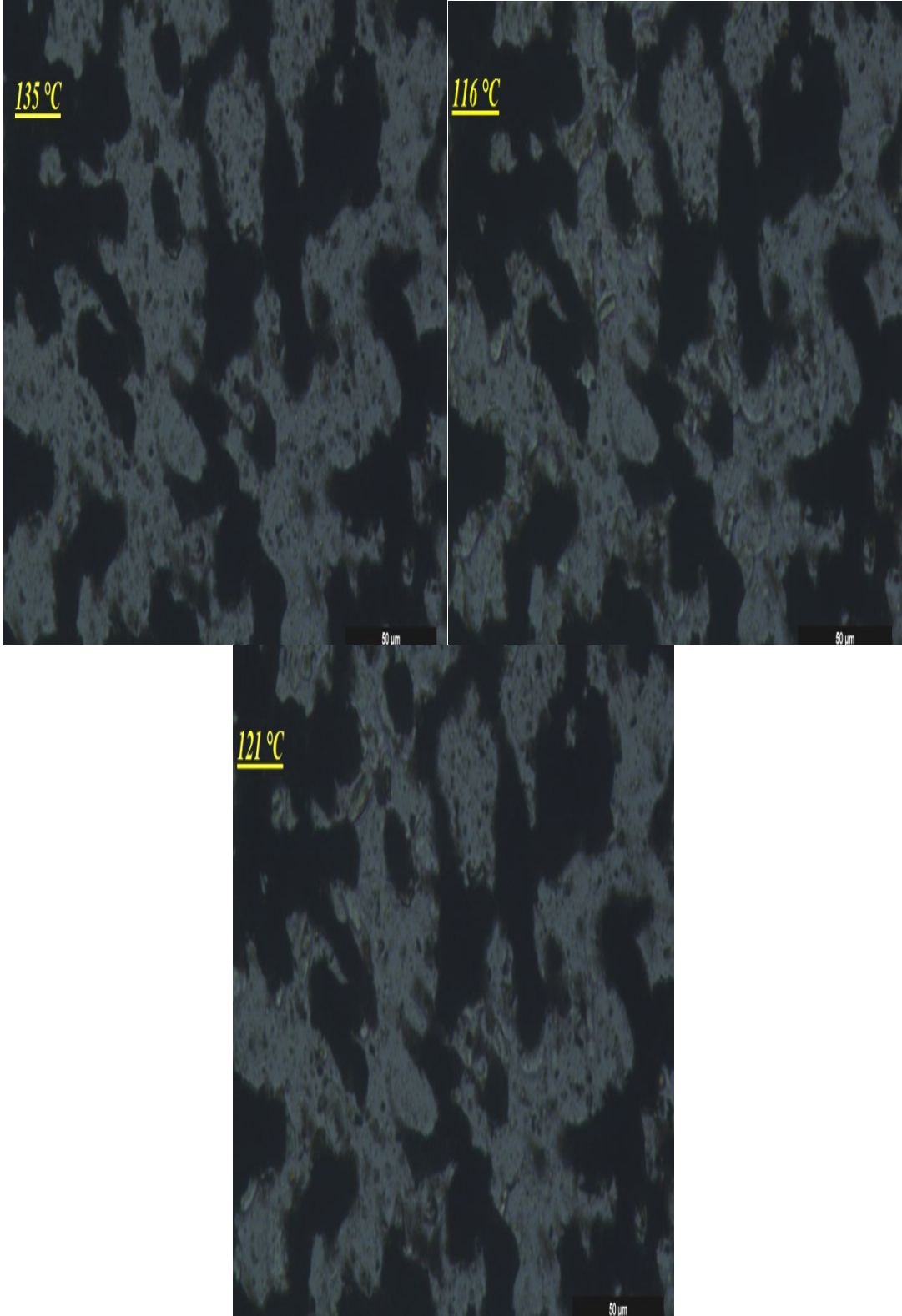
En büyük fark, HPN 68L eklenen tüm karışımlarda elde edilmiştir. Ayrıca EPDM'nin matris girişi ile özellikle HPN 68L eklenen karışımlarda kristalizasyon sıcaklığı 2 °C oranında artmıştır. NA-11UH kristalizasyon entalpisini arttırırken, HPN 68 L ve 20 E bunu düşürmüş veya değiştirmemiştir.

Sonuçlara göre, NA-11UH eklenen karışımlar, genellikle daha yüksek entalpi değerlerine sahiptir.

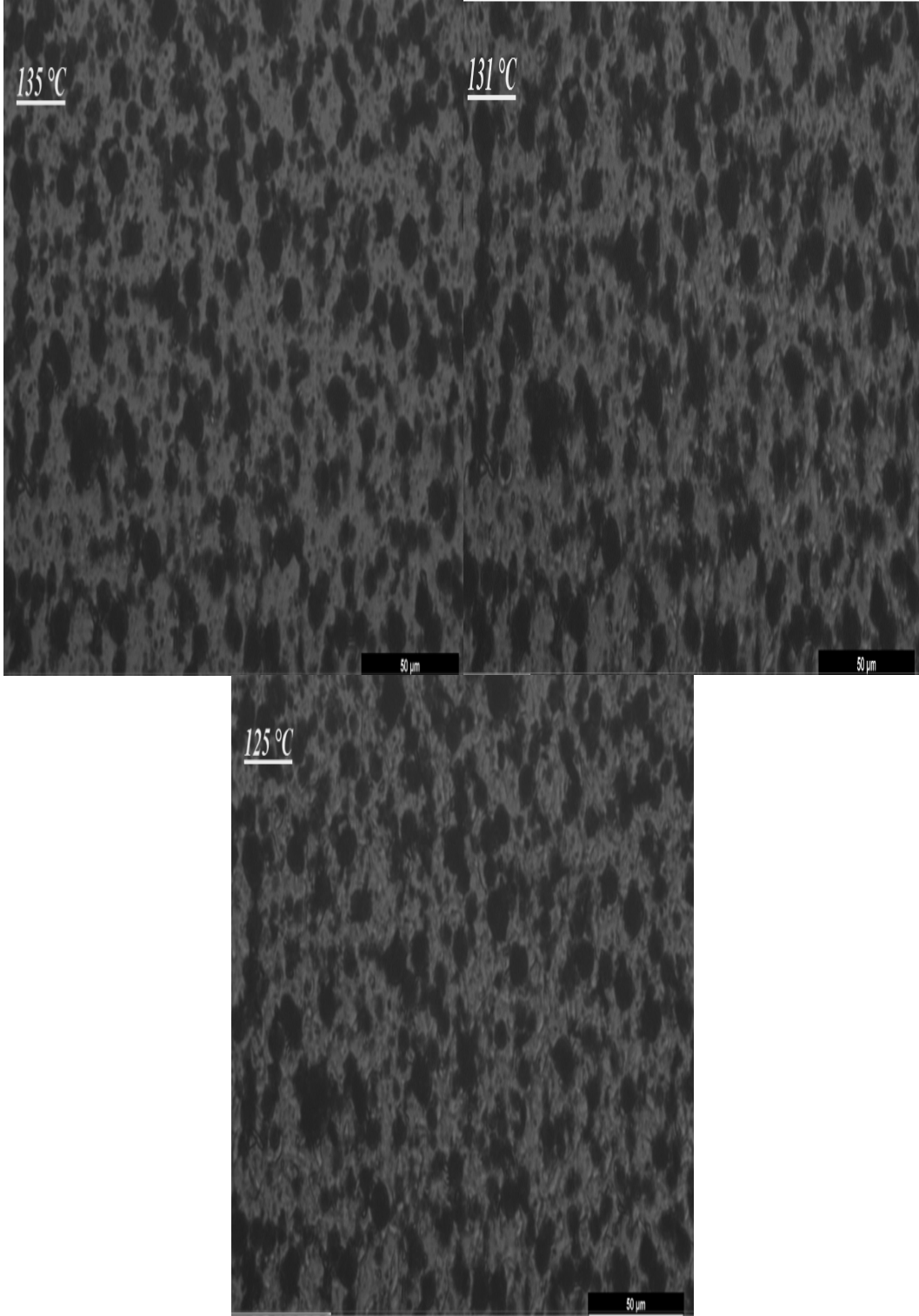
3.4. Polarize Mikroskopu (POM) ile Analizler

DSC analiz sonuçlarında görüldüğü gibi çekirdekletirici ajanın eklenmesi, kristalizasyonun başlangıç sıcaklığını ve sferülitlerin boyutunu değiştirdi. RPP 121 °C'de kristalleşmeye başlarken, karışımlara eklenen çekirdekli ajan daha yüksek sıcaklıklarda kristalleşmeye başlamıştır.

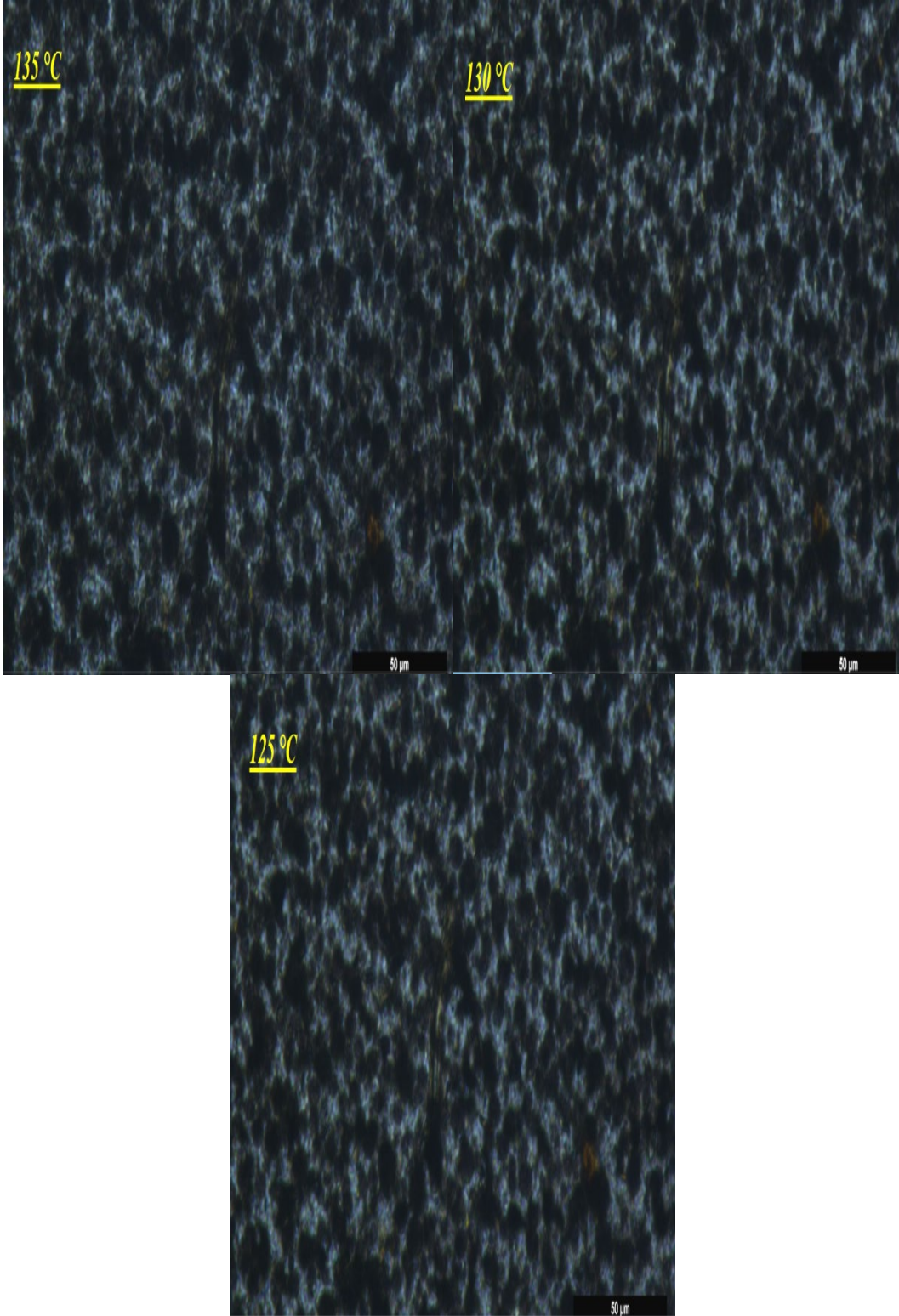
Mono, ikili ve üçlü karışımlar için analiz görüntüleri Şekil 7-13'te verilmiştir.



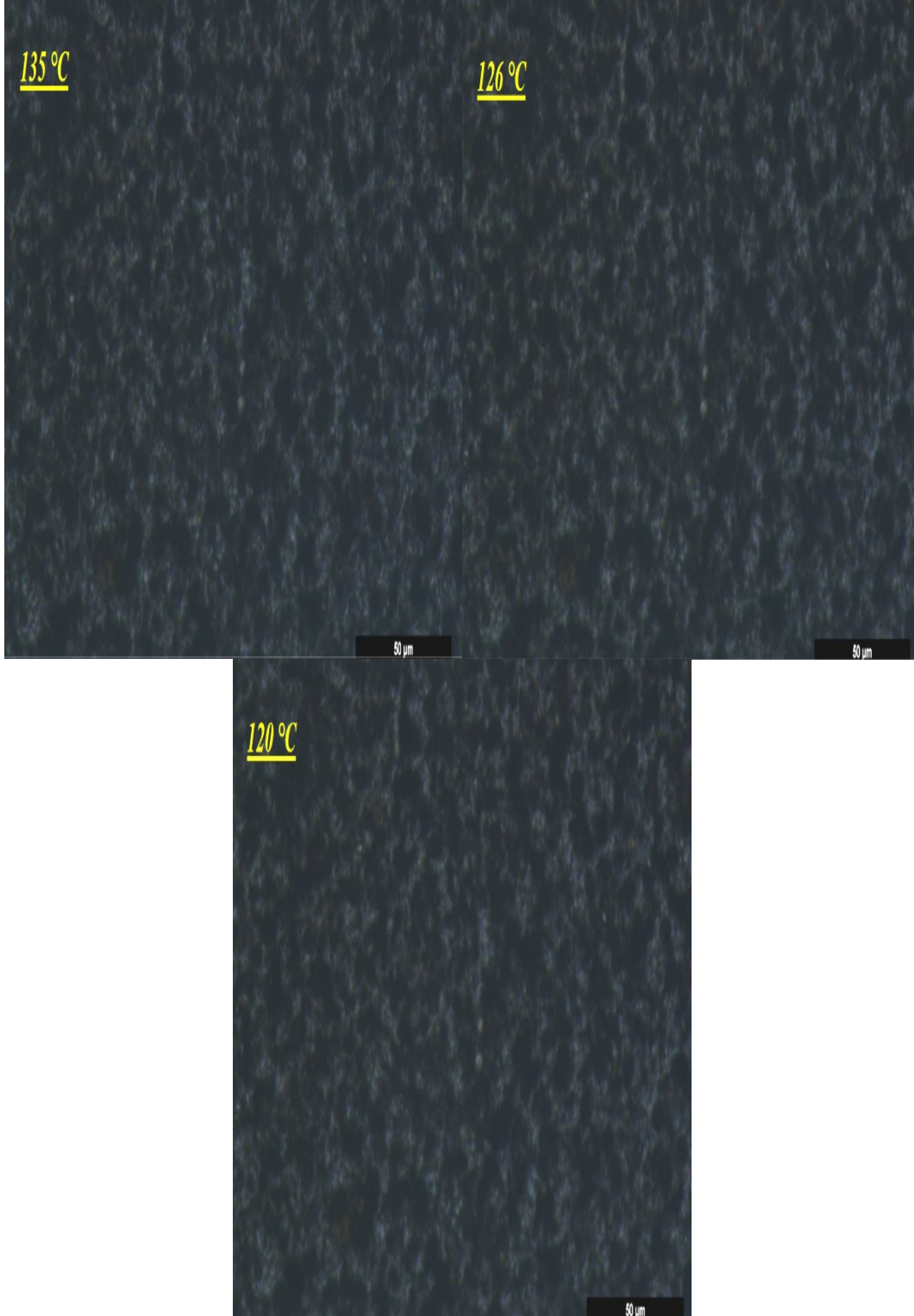
Şekil 7. RPP için 50 µm yakınlaştırma hızında 5. (135 °C), 19. (121 °C), 24. (116 °C) dakikalarda sferülitlerin gelişimi.



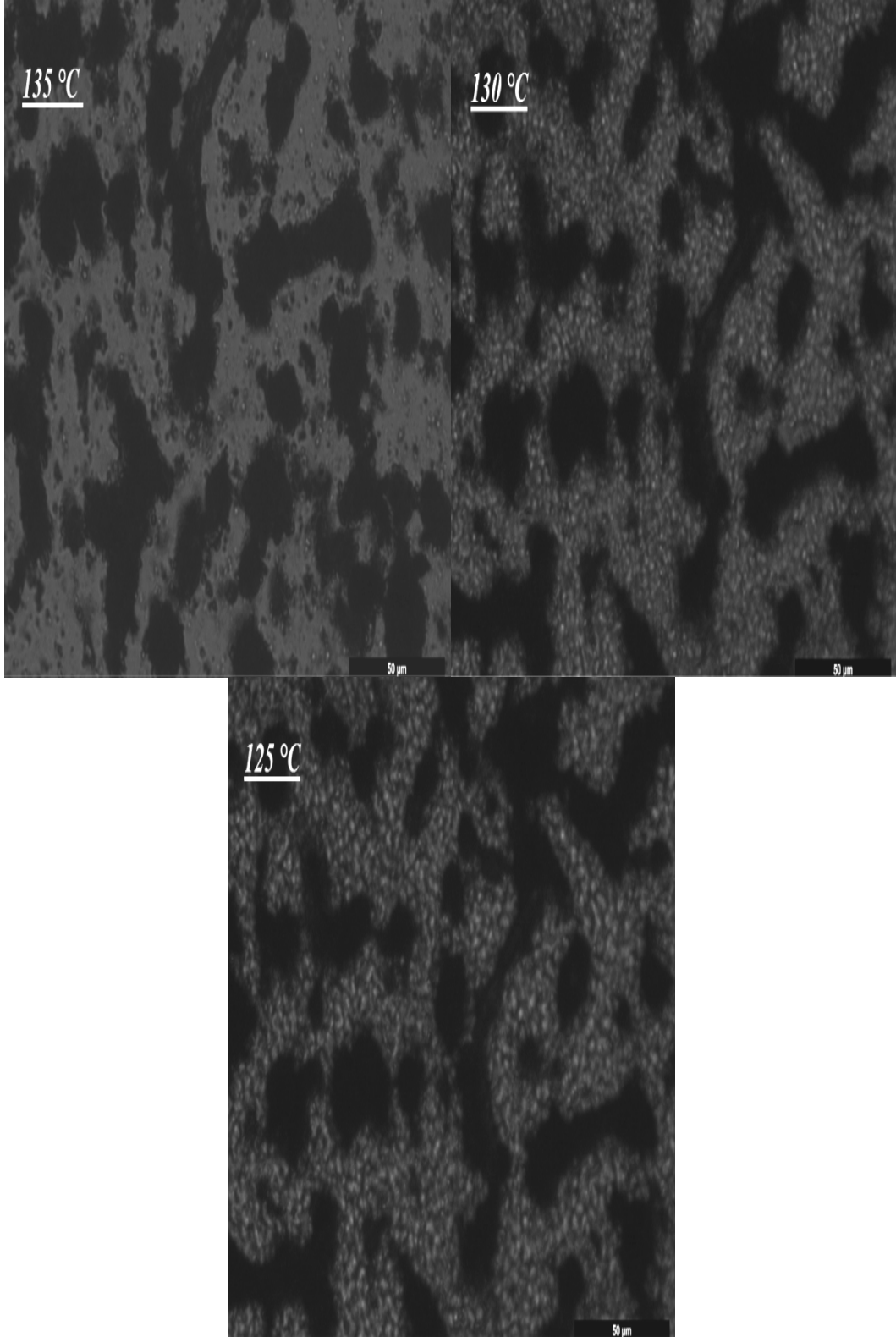
Şekil 8. RPP/NA-11 UH tekli karışımı için 50 µm yakınlaştırma hızında 5. (135 °C), 9. (131 °C), 15. (125 °C) dakikada sferülitlerin gelişimi



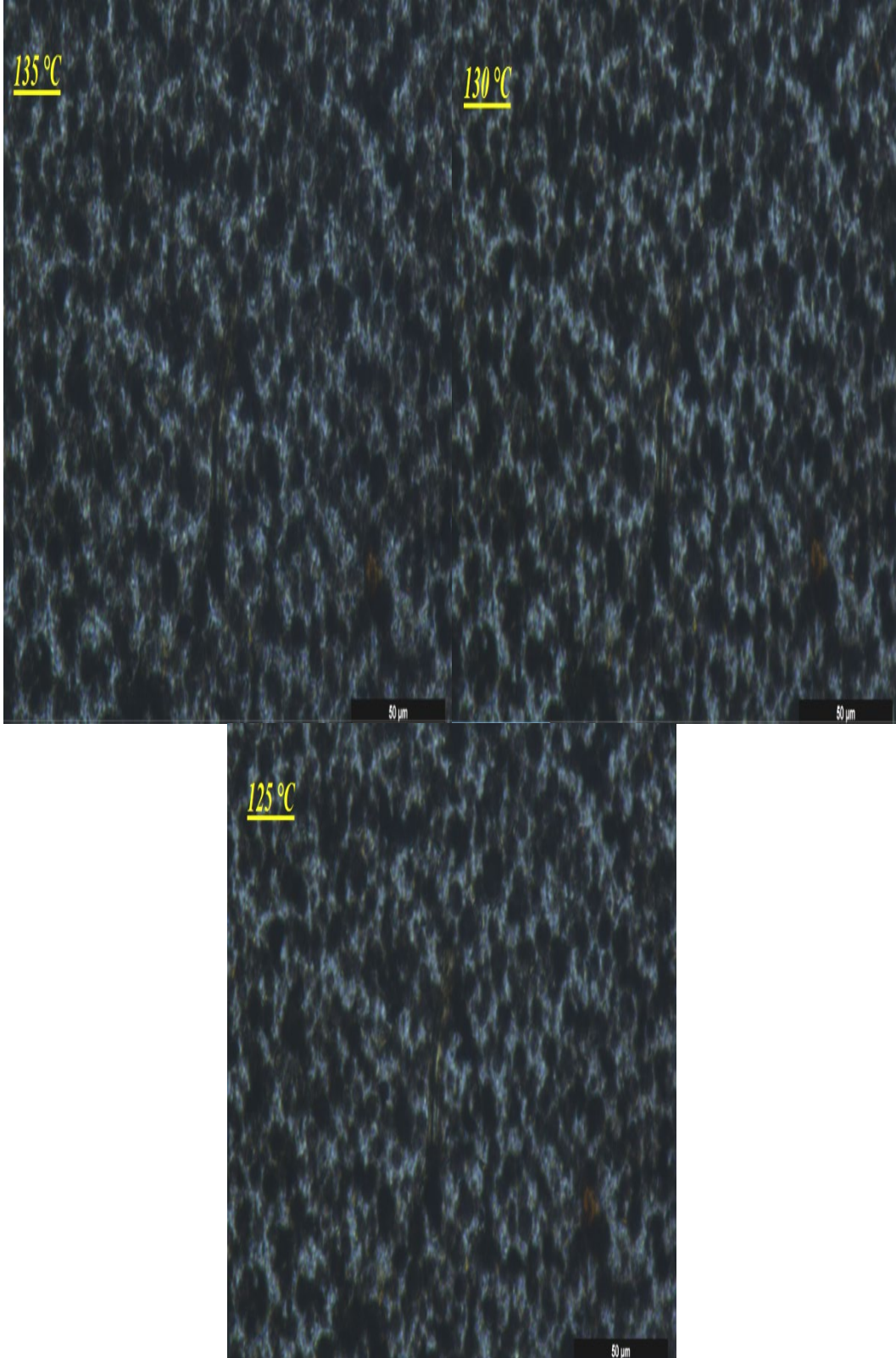
Şekil 9. RPP/HPN 68L mono karışımı için 50μm yakınlaştırma hızında 5. (135 °C), 10. (130 °C), 15. (125 °C) dakikada sferülitlerin gelişimi



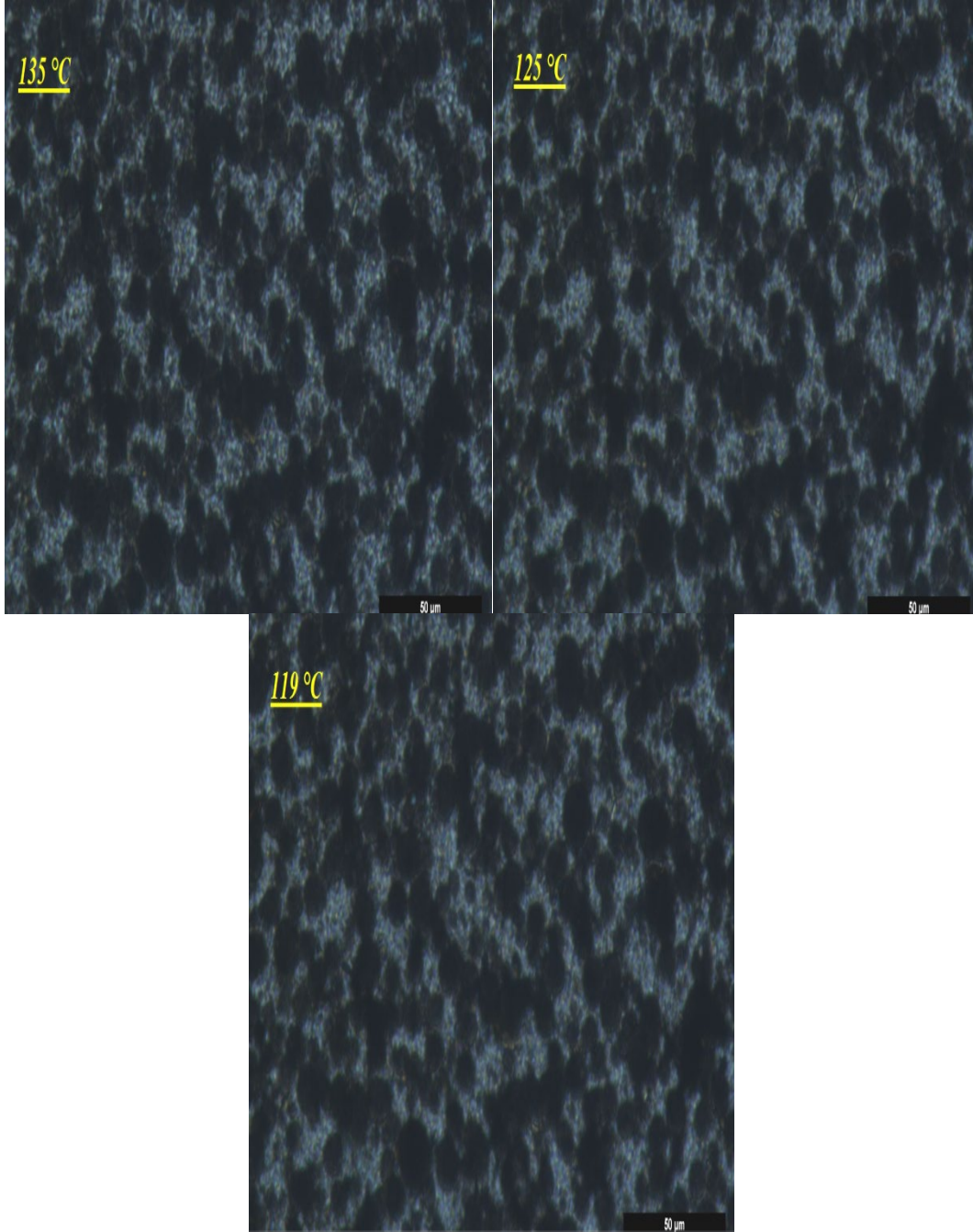
Şekil 10. RPP/HPN 20E mono karışımı için 50 µm yakınlaştırma hızında 5. (135 °C), 14. (126 °C), 20. (120 °C) dakikalarda sferülitlerin gelişimi



Şekil 11. RPP/NA-11 UH/I-168 üçlü karışımı için 50 µm yakınlaştırma hızında 5. (135 °C), 10. (130 °C), 15. (125 °C) dakikada sferülitlerin gelişimi



Şekil 12. RPP/HPN 68L/I-168 çl karışımı için 50 µm yakınlaştırma hızında 5. (135 °C), 10. (125 °C), 15. (125 °C) dakikada sferülitlerin gelişimi



Şekil 13. RPP/HPN 20E/I-168 üçlü karışım için 50 µm yakınlaştırma hızında 5. (135 °C), 15. (125 °C), 21. (119 °C) dakikalarda sferülitlerin gelişimi

3.5. Çekme ve Darbe Testleri ile Mekanik Özellik Analizleri

Tekli, ikili ve/veya üçlü karışımların RPP bazlı bileşiklerin mekanik özellikleri Tablo 6'da verilmiştir. Değişken oranlarda EPDM, çekirdekleştirici maddeler ve antioksidanın farklı yükleme seviyelerinde RPP bileşiklerinin mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini değerlendirmek için çekme testleri yapılmıştır.

Sonuçlar, EPDM'nin %5 ve %10 eklenmesiyle çekme mukavemeti ve elastisite modülünün azaldığını göstermiştir. RPP'ye kıyasla yüzde uzama artar. RPP'nin çekme mukavemeti yaklaşık 25 MPa idi ve EPDM çekme mukavemetini 20 MPa'ya kadar düşürmüştür.

Elastisite modülü için benzer sonuçlar elde edilmiştir. RPP'nin elastisite modülü 1206 MPa civarındaydı ve EPDM elastisite modülünü 880 MPa'ya kadar düşürmüştür. Öte yandan, EPDM eklenmiş bileşiklerin ağırlıkça %10'luk yükleme seviyesi, RPP'ye kıyasla %143,8 gibi daha yüksek yüzde uzama değerine sahiptir. Bununla birlikte, elastik modülü, antioksidan içeren veya içermeyenlerde, çekirdekletirici ajanların eklenmesiyle arttırmıştır. Bu da %uzama değerlerini düşürme eğiliminde olduğu saptanmıştır. RPP'nin elastik modülü 1210 MPa, çekirdekli RPP'nin elastik modülü yaklaşık 1250 MPa olarak saptanmıştır.

EPDM, çekirdekletirici ajanlar ve antioksidan ikili karışımlarda etkilerini sürdürmüştür. Çekme mukavemetinin ve elastik modülünün arttığını ve bu nedenle, EPDM eklenen mono karışımların sonuçlarına kıyasla uzama yüzdesinin azaldığını göstermiştir.

Tablo 6. Hazırlanan geri dönüşüm esaslı RPP bazlı bileşiklerin ait mekanik özellikleri

<i>Numuneler</i>	<i>Çekme Mukavemeti (MPa)</i>	<i>Kopma Uzaması (%)</i>	<i>Elastisite Modülü (MPa)</i>	<i>Darbe Mukavemeti (kJ/m²)</i>
R1	25 ± 2	35,6 ± 2,3	1210 ± 35	4,0 ± 0,2
R2	23 ± 1	77,2 ± 1,8	960 ± 67	6,5 ± 0,2
R3	20 ± 2	143,8 ± 0,9	880 ± 78	8,9 ± 0,1
R4	25 ± 1	31,9 ± 0,5	1250 ± 23	4,2 ± 0,1
R5	25 ± 1	29,5 ± 1,2	1260 ± 56	4,3 ± 0,1
R6	25 ± 1	32,1 ± 1,7	1240 ± 40	4,1 ± 0,3
R7	25 ± 1	22,4 ± 2,1	1170 ± 37	4,2 ± 0,2
R8	27 ± 1	28,6 ± 3,1	1240 ± 97	3,6 ± 0,2
R9	27 ± 2	26,7 ± 3,2	1280 ± 88	3,8 ± 0,1
R10	26 ± 3	31,9 ± 2,4	1120 ± 56	3,5 ± 0,2
R11	24 ± 3	39,5 ± 2,9	1070 ± 103	6,1 ± 0,2
R12	24 ± 1	54,8 ± 1,8	1040 ± 96	5,8 ± 0,1
R13	22 ± 1	67,4 ± 1,5	1000 ± 109	5,4 ± 0,2
R14	22 ± 2	100,8 ± 0,8	930 ± 123	8,4 ± 0,1
R15	22 ± 3	110,2 ± 0,6	900 ± 76	8,2 ± 0,2
R16	21 ± 1	115,6 ± 0,5	880 ± 103	7,9 ± 0,2
R17	23 ± 1	98,6 ± 0,3	1110 ± 92	5,7 ± 0,2
R18	21 ± 1	165,8 ± 1,1	860 ± 34	8,1 ± 0,1
R19	24 ± 2	70,6 ± 1,4	1100 ± 45	8,5 ± 0,1
R20	23 ± 1	75,7 ± 2,1	1050 ± 22	8,2 ± 0,2
R21	23 ± 1	76,9 ± 2,7	1000 ± 35	7,9 ± 0,3
R22	21 ± 2	127,6 ± 2,8	980 ± 19	11,8 ± 0,3
R23	21 ± 2	132,5 ± 2,5	950 ± 28	11,5 ± 0,2
R24	20 ± 1	141,8 ± 3,4	910 ± 32	10,4 ± 0,1

Üçlü karışımlarda, özellikle elastik modülü ve yüzde uzamada farklılıklar gözlenmiştir. Esneklik modülü 980 MPa'ya yükseldi ve yüzde gerinim RPP/% 10 3092PM/NA-11UH/I-168 üçlü karışım için %127,6 olarak elde edilmiştir.

Izod darbe testi sonuçlarına göre; EPDM darbe dayanımını artırırken, çekirdekleştirici ajan ve antioksidan mono karışımlarda darbe dayanımında yeterince artış sağlayamamıştır. RPP'nin darbe dayanımı (E Izod) 4 kJ/m² ve bu değer EPDM yüklenerek 8,9 kJ/m²'ye çıkmıştır. Ancak yükleme çekirdekleştirici ajan, yaklaşık 4,2 kJ/m² olarak biraz değiştirmiştir. İkili karışımların sonuçlarına göre; çekirdekleştirici ajanlar ve antioksidan EPDM'nin darbe dayanımı üzerindeki olumlu etkisini azaltmıştır. EPDM darbe dayanımını 8,9 kJ/m²'ye kadar yükseltirken, çekirdekleştirici maddeler bu değeri yaklaşık 8,2 kJ/m²'ye kadar düşürmüştür. Üçlü karışımlarda, darbe dayanımı önemli ölçüde arttı ve sinerjik bir etki elde edildi. NA-11 UH, HPN 68L ve HPN 20E kullanılarak sırasıyla 11,8 kJ/m², 11,5 kJ/m² ve 10,4 kJ/m² olarak yüksek değerler elde edilmiştir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada elastomerik katkı maddesi, α -NA'lar ve antioksidanın geri dönüşümlü PP üzerindeki etkilerini birleştirme yöntemi ile gözlemlenmek için tekli, ikili ve üçlü karışımlar hazırlanmıştır. Ham maddeler önce önceden karıştırılmış ve daha sonra birlikte dönen ekstrüderde birleştirilmiştir. EPDM'yi dağıtmak için vida hızı 500 rpm olarak belirlenmiş ve RPP için uygun sıcaklık profili kullanılmıştır. Numunelerin hazırlanmasında ek etkileri önlemek için tüm işlem parametreleri sabit tutulmuştur.

Yoğunluk ölçümleri EPDM, çekirdekleştirici ajan ve antioksidan içeren karışımlar arasında herhangi bir fark olmadığını göstermiştir. RPP'nin yoğunluğu 0,92 g/cm³'tür ve EPDM/N.A/A.O içeren bileşikler yaklaşık 0,93-0,94 g/cm³ yoğunluğa sahiptir, bu nedenle sonuçlar yoğunluk değerleri açısından RPP bazlı bileşikler için önemli bir fark olmadığını göstermiştir. Buradaki en dikkat çekici sonuç, RPP'nin yoğunluk değeri, önceki üretiminden bazı inorganik katkı maddelerinin varlığından dolayı işlenmemiş PP'ninkinden daha yüksektir.

Reolojik özellikler, EPDM'nin matrise farklı yükleme seviyelerinde eklenmesinden etkilenmiştir. Sonuçlar, eriyik akış indeksi (MFI) değerlerinin, artan EPDM yükleme seviyesi ile önemli ölçüde azaldığını göstermiştir. RPP'nin MFI değeri 15 g/10 dk ağırlıkça %10 EPDM'lik en yüksek yükleme, MFI'yi 8,1 g/10 dk'ya kadar düşürmüştür. EPDM'nin matrise dahil edilmesi ile eriyik akış indeksi değerleri, RPP'nin zincir hareketlerinin azalmasına bağlı olarak azalmıştır. Bununla birlikte, çekirdekleştirici ajan veya antioksidan, MFI'de herhangi bir farklılığa neden olmamıştır.

Çekirdekleştirici ajanların kristalleşme davranışı üzerindeki etkileri XRD sonuçlarına göre araştırılmıştır. α çekirdekli RPP örnekleri $2\theta = 14,1^\circ, 16,9^\circ, 18,5^\circ, 21,2^\circ$ difraksiyon açılarında monoklinik α -formu gösterir ve bu kırınım açıları, HPN 68L veya HPN 20E içeren bileşiklerde görülmüştür. Ayrıca, α -NA'lar üçlü karışımlarda geri dönüştürülmüş PP'nin " θ " açılarına karşılık gelen yoğunluğu önemli ölçüde değiştirmiştir. Bu sonuç, üçlü bileşiklerin geri dönüştürülmüş PP üzerinde daha dayanıklı kristal yapılar sağladığını göstermiştir.

Numunelerin mekanik özellik analizi, özellikle üçlü karışımların, bu malzemelerin gerilme özellikleri üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Mekanik sonuçlar, EPDM'nin artan yükleme seviyesi ile çekme mukavemetinin ve elastik modülünün azaldığını göstermiştir. Geri dönüştürülmüş PP'nin çekme mukavemeti ve elastik modülü sırasıyla yaklaşık 25 MPa ve 1210 MPa olarak saptanmıştır. Çekme mukavemeti %10 EPDM eklenerek 20 MPa'ya düşürülmüştür. Ayrıca EPDM ilavesi ile yüzde uzama değerleri %143,8'e yükselmiştir. Öte yandan, çekirdekleştirici maddenin yüklenmesi EPDM'e göre olumsuz etkiye neden olmuştur. Shore-D sertlik ölçüm sonuçları, EPDM yüklemesinin sertliği azalttığını göstermiştir.

Bu noktada; Katkı maddeleri arasındaki sinerjik etkilerin etkisini vurgulamak için darbe, çekme testi ve sertlik sonuçları birlikte değerlendirilmelidir. EPDM kullanılarak elde edilen yüksek darbe dayanımı, karışımlarda sadece çekirdekleştirici ajan kullanıldığında görülemez. Çekirdekleştirici

maddeler kullanılarak yüksek çekme mukavemeti, elastik modül ve sertlik değerleri elde edilmiş, ancak aynı karışımlarda çok düşük darbe dayanımı değerleri görülmüştür. Aynı zamanda, çekirdekleştirici ajan veya antioksidan içeren ikili karışımlar yüksek çekme mukavemetine, elastik modülüne ve sertliğe sahiptirler, bu da yüzde uzama ve darbe mukavemeti değerlerini düşürme eğiliminde olmuştur. Ayrıca, sadece EPDM içeren ikili karışımlara kıyasla üçlü karışımlarda da darbe dayanımı artmıştır. Özellikle NA-11 UH'nin EPDM ile kullanılması en belirgin etkiyi sağlamıştır. Kısaca; Üçlü karışımların kullanılması, geri dönüştürülmüş polipropilen mühendislik plastiği olarak değerlendirildiğinde hem yüksek darbe dayanımı hem de yüksek çekme özellikleri sağlamıştır.

DSC diyagramları, geri dönüştürülmüş PP'nin %5 polietilen içerdiğini göstermiştir. Bu detay aslında mekanik özellikler ve EPDM kullanımı açısından çok önemli bir noktadır. Bileşiğin yapısında polietilen ve EPDM bulunmasının çekme ve darbe gibi daha yüksek mekanik özelliklere neden olduğu görülmüştür. Birleştirme işlemi sırasında, polietilen ve EPDM arasında etkileşim elde edilir. Dolayısıyla bu durum mekanik özellik sonuçlarını etkilemektedir.

DSC sonuçlarında, α -NA'ların etkisi kristalleşme davranışı açısından açıkça gözlemlenmiştir. Kristalizasyon sıcaklığı, 121,2 °C'den 131,8 °C'ye çekirdekleştirici madde eklenerek artırılmıştır. Bu etki, POM görüntülerinden de elde edilmiştir. Kristalizasyon geri dönüştürülmüş PP daha geç kristalleşmeye başlarken, α -NA'lar eklenen formülasyonlar daha erken kristalleşmeye başlamıştır. En fazla etki HPN 68L kullanılarak gözlenmiştir. Ayrıca α -NA'ların sferülit boyutu açısından etkisi POM görüntülerinde gözlenmiştir. Geri dönüştürülmüş PP'nin sferülit boyutu, α çekirdekli olanlardan daha büyüktür. Kristalizasyon oluşumu açısından en belirgin görüntü RPP/%10 3092PM/NA-11UH/I-168 üçlü karışımdaki POM görüntüsü ile elde edilmiştir

Kaynaklar

- [1] H. Chen, U. Sundararaj, K. Nandakumar, and M. D. Wetzel, "Investigation of the melting mechanism in a twin-screw extruder using a pulse method and online measurement," *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 43, no. 21, pp. 6822–6831, 2004, doi: 10.1021/ie049650s.
- [2] K. Hamad, M. Kaseem, and F. Deri, "Recycling of waste from polymer materials: An overview of the recent works," *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 98, no. 12, pp. 2801–2812, 2013, doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2013.09.025.
- [3] B. K. Deka and T. K. Maji, "Effect of coupling agent and nanoclay on properties of HDPE, LDPE, PP, PVC blend and Phargamites karka nanocomposite," *Compos. Sci. Technol.*, vol. 70, no. 12, pp. 1755–1761, 2010, doi: 10.1016/j.compscitech.2010.07.010.
- [4] S. Jose *et al.*, "Phase morphology, crystallisation behaviour and mechanical properties of isotactic polypropylene/high density polyethylene blends," *Eur. Polym. J.*, vol. 40, no. 9, pp. 2105–2115, 2004, doi: 10.1016/j.eurpolymj.2004.02.026.
- [5] J. H. Lin *et al.*, "Preparation and compatibility evaluation of polypropylene/high density polyethylene polyblends," *Materials (Basel)*, vol. 8, no. 12, pp. 8850–8859, 2015, doi: 10.3390/ma8125496.
- [6] A. H. I. Mourad, "Thermo-mechanical characteristics of thermally aged polyethylene/polypropylene blends," *Mater. Des.*, vol. 31, no. 2, pp. 918–929, 2010, doi: 10.1016/j.matdes.2009.07.031.
- [7] S. A. Ahmad Ramazani, M. Abdi Valami, and M. Khak, "Effect of poly (propylene-g-maleic anhydride) on the morphological, rheological, and mechanical properties of PP/HDPE blend," *J. Thermoplast. Compos. Mater.*, vol. 22, no. 5, pp. 519–530, 2009, doi: 10.1177/0892705709100662.
- [8] J. G. Gwon, S. Y. Lee, S. J. Chun, G. H. Doh, and J. H. Kim, "Effect of chemical treatments of wood fibers on the physical strength of polypropylene based composites," *Korean J. Chem. Eng.*, vol. 27, no. 2, pp. 651–657, 2010, doi: 10.1007/s11814-010-0058-1.

- [9] J. M. Eagan *et al.*, “Combining polyethylene and polypropylene: Enhanced performance with PE/ i PP multiblock polymers,” vol. 816, no. February, pp. 814–816, 2017.
- [10] C. Spicker, N. Rudolph, I. Kühnert, and C. Aumnate, “The use of rheological behavior to monitor the processing and service life properties of recycled polypropylene,” *Food Packag. Shelf Life*, vol. 19, no. September 2018, pp. 174–183, 2019, doi: 10.1016/j.fpsl.2019.01.002.
- [11] T. G. Mofokeng, S. S. Ray, and V. Ojijo, “Influence of selectively localised nanoclay particles on non-isothermal crystallisation and degradation behaviour of PP/LDPE blend composites,” *Polymers (Basel)*., vol. 10, no. 3, 2018, doi: 10.3390/polym10030245.
- [12] N. D. Tien and R. E. Prud’homme, *Crystallization behavior of semicrystalline immiscible polymer blends*. Elsevier Inc., 2018.
- [13] C. Aumnate, N. Rudolph, and M. Sarmadi, “Recycling of polypropylene/polyethylene blends: Effect of chain structure on the crystallization behaviors,” *Polymers (Basel)*., vol. 11, no. 9, 2019, doi: 10.3390/polym11091456.
- [14] M. Akbari, A. Zadhoush, and M. Haghighat, “PET / PP Blending by Using PP- g -MA Synthesized by Solid Phase,” 2006, doi: 10.1002/app.
- [15] K. Jayanarayanan, S. Thomas, and K. Joseph, “Journal of Reinforced Plastics and Composites,” 2012, doi: 10.1177/0731684412440602.
- [16] M. A. Tavanaie, A. M. Shoushtari, and F. Goharpey, “Matrix-fibril Morphology Development of Polypropylene / Poly (butylenes terephthalate) Blend Fibers at Different Zones of Melt Spinning Process and Its Relation to Mechanical Properties,” vol. 14, no. 3, pp. 396–404, 2013, doi: 10.1007/s12221-013-0396-9.
- [17] A. Review, “Recycling of Polymer-Based Multilayer Packaging: A Review,” 2018, doi: 10.3390/recycling3010001.

PEM TİPİ YAKIT HÜCRELERİ İÇİN İMİDAZOL FONKSİYONEL SİLİKA / POLİ (GLİSİDİL METAKRİLAT) NANOKOMPOZİT MEMBRANLARIN ÜRETİLMESİ VE KARAKTERİZASYONU

Ayse ASLAN^{1*}, Sedef KAPTAN USUL¹

¹Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, Kocaeli, 41400, Türkiye

Geliş tarihi: 01.12.2020 Kabul tarihi: 11.01.2021

ÖZET

Bu çalışmada poli (glisidil metakrilat) (PGMA) polimeri, fonksiyonel SiO₂ nano yapıları ile etkileştirilerek kompozit membranlar hazırlanmış ve karakterize edilmiştir. PEMFC' de proton (H⁺) iyonlarının iletimini sağlayan nano yapıli kompozit membranların üretimi için imidazol (Im) ile SiO₂ nanoparçacıkları modifiye edilmiştir. Modifiye edilen imidazol fonksiyonel SiO₂ (Im-SiO₂) nano yapıları halka açılma reaksiyonu ile PGMA ile etkileştirilmiştir. Elde edilen yapıya fosforik asit (H₃PO₄) eklenerek proton iletkenliği yüksek nanokompozit membranlar hazırlanmıştır. Nanokompozit membranların karakterizasyonunda PGMA ve Im-SiO₂ etkileşimin belirlemek için FTIR analizi, termal özelliklerini incelemek için TGA ve DSC analizi, proton iletkenliklerini belirlemek için iletkenlik analizi yapılmıştır. Membranların morfolojisini belirlemek için SEM analizi yapılmıştır. PEMFC uygulamaları için geliştirilen nanokompozit membranların hazırlanmasında SiO₂ ve imidazol etkileşimi doğrulanmış ayrıca PGMA üzerindeki epoksi halkasının açıldığı gözlenmiştir. Nanokompozit membranların proton iletkenlik özelliklerinin yüksek sıcaklıkta (120°C) 0.04 Scm⁻¹ iletkenlik değerine sahip olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Membran, Poli (glisidil metakrilat), İmidazol silika, Fosforik asit

PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF IMIDAZOLE FUNCTIONAL SILICA INCORPORATED POLY (GLYCIDYL METHACRYLATE) AS NANOCOMPOSITE PEMFC MEMBRANE

ABSTRACT

In this study, composite membranes were prepared and characterized by interacting poly (glycidyl methacrylate) (PGMA) with functional SiO₂ nanostructures. SiO₂ nanoparticles were modified with imidazole (Im) for the production of nano-structured composite membranes that transmit proton (H⁺) ions in PEMFC. The modified imidazole functional SiO₂ (Im-SiO₂) nanostructures were interacted with PGMA by ring opening reaction. By adding phosphoric acid (H₃PO₄) to the structure obtained, nanocomposite membranes with high proton conductivity were prepared. In the characterization of nanocomposite membranes, FTIR analysis to determine PGMA and Im-SiO₂ interaction, TGA and DSC analysis to examine their thermal properties, conductivity analysis to determine proton conductivity. SEM analysis was performed to determine the morphology of membrane. In the preparation of nanocomposite membranes developed for PEMFC applications, SiO₂ and imidazole interaction was confirmed, and it was observed that the epoxy ring on PGMA was opened. The proton conductivity properties of nanocomposite membranes were measured to have a conductivity value of 0.04 Scm⁻¹ at high temperature (120°C).

Keywords: Membrane, poli (glycidyl methacrylate), imidazole silica, phosphoric acid

* e-posta: ayseaslan@gtu.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8904-4074> (Sorumlu Yazar),

e-mail: sedefkaptan@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8178-9343>,

1. Giriş

Yeni nesil alternatif enerji kaynakları arasında hidrojen enerjisi uygulamalarından olan proton değişim membranları (PEM), teknolojisi yüksek güç yoğunluğuna sahip olması, çalışma sıcaklığının düşük (80°C civarında) olması, sessiz çalışması, düşük hacim ve düşük ağırlığa sahip oluşu gibi özelliklerinden dolayı önemli ölçüde dikkat çeken yenilikçi bir araştırma alanıdır [1, 2]. PEM tipi yakıt hücrelerinde (PEMFC) elektrolit olarak mikron düzeyinde kalınlığa sahip, polimer bir membran kullanılır. İyi proton iletkenliği bir membrandan beklenen en önemli özelliktir. Buna ek olarak cihaz çalışma koşulu altında membrandan beklenen diğer özellikler, anot-katot arası herhangi bir gazın geçişine izin vermemesi (metanol gibi), termal, kimyasal ve mekanik kararlılığa sahip olması ile kullanım ömürlerinin uzun olmasıdır [3-5].

PEM, kritik dinamik çalışma koşulları nedeniyle PEMFC' nin en önemli bileşenlerinden biridir. Yüksek proton iletkenliği ve mekanik-kimyasal stabilite nedeniyle, nasyon proton değişim membranı olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Yüksek sıcaklık membranlarına ihtiyaç duyulduğundan, araştırmacılar alternatif susuz proton iletkenleri geliştirmeye odaklanmıştır [6-8]. Bu bağlamda, kararlı ana matrislere sahip kompozit membranlar, yüksek sıcaklık uygulamaları için büyük ilgi görmektedir [6, 9-19].

Nanopartiküller fonksiyonel hale getirilerek işlevselliği artırılmış ve birçok alanda optimum özelliklere sahip malzemelerin üretilmesine olanak sağlamıştır. Ana matrisin stabilizesini artırmak ve hedeflenen koşullarda optimum özelliklere sahip olmaları açısından nano yapıların yer aldığı polimer kompozitler her alanda artan bir ilgiye sahiptir [14, 20-25].

Silika esaslı nanomalzemeler, oldukça hidrofilik yüzeyleri, inert özellikleri ve uyumlulukları nedeniyle birçok uygulama için öne çıkan nano yapılardır [24, 26]. Farklı silika nanoparçacıklarının, çeşitli silika ağı kullanılarak sentezlendiği çalışmalar bulunmaktadır. Ek olarak, fonksiyonel silika parçacıkları, yüksek termal ve kimyasal stabiliteyi nedeniyle potansiyel uygulamalara sahiptir. Polimerin, nanoparçacık yüzeyi ile reaksiyona giren aktif fonksiyonel gruplara sahip olduğu ve ayrıca farklı kimyasal modifikasyonlar için ilave fonksiyonel grupların bulunduğu, partiküllerin fonksiyonelleştirilmesi de çalışılan konular arasındadır [27-31]. Polimer nano kompozit membranlarda nano yapıların kullanımı; nano parçacıkların yüzey özellikleri, termal/kimyasal/mekaniksel kararlılıkları, dağılıbilirlik ve işlevsellik gibi özellikleri göz önünde bulundurularak gerçekleştirilir [28, 32-35].

Son zamanlarda, fosfat fonksiyonel ve bunların türevlerini içeren polimerler, PEMFC uygulamaları olarak umut verici sonuçları nedeniyle büyük ilgi görmüş olsa da metakrilat türevi polimerler, kompozit membranlarda orta şişme özelliği ve yüksek iyon değişim kapasitesi sergilemiştir [36].

Nano SiO₂ tanecikleri ve fonksiyonel gruplardaki özel yapılar daha fazla su tutar ve inorganik bileşenlerin işlevselliğini destekler. Böylece kompozit membranların proton iletkenliğinde nano yapıların katkısı artar. Tüm bu faktörler göz önüne alındığında yeni bir azol fonksiyonel polimer kompoziti olarak, imidazol fonksiyonel membranlar geliştirilmiştir. Farklı bir yaklaşım olarak, termal açıdan kararlı ve proton taşıma yoluna sahip fonksiyonel gruplar içeren nano yapılar proton kaynağı yapıları olarak değerlendirilebilir [28, 32, 37-39].

Fosforik asit dop edilen malzemeler yaygın olarak PEM yakıt hücresi sistemlerinde kullanılmaktadır. Susuz koşullar altında ve yüksek sıcaklıklarda azol üniteleri içeren polimer SiO₂ kompozit membranları, proton taşıyıcıları olarak azol üniteleri ve H₃PO₄'ün kullanılmasıyla farklılık göstermektedir. Temel azot siteleri gibi güçlü asit grupları da iletkenlik açısından güçlü proton alıcısı olarak hareket ederler.

Bu çalışmada, imidazol molekülleri kullanılarak, halka açılma reaksiyonlarıyla epoksi fonksiyonel SiO₂ nano parçacıklarıyla etkileştirilerek yüzeye tutunması ve kimyasal modifikasyonun sağlanması amaçlanmıştır. SiO₂ nano yapıları yüzey özellikleri ve fonksiyonelleşmeye elverişli olması gibi özelliklerinden dolayı tercih edilmiştir. Epoksilenen nano silika yüzeyleri halka açılma reaksiyonu ile imidazol gruplarıyla etkileştirilmiş ve yüzey fonksiyonel Im-SiO₂ nano yapıları elde edilmiştir. Serbest

radikal yöntemi ile sentezlenen PGMA polimeri Im-SiO₂ ile etkileştirilmiş ve epoksi açılma reaksiyonu ile polimer zincirinin uç kısımlarında nano parçacık-polimer etkileşimi gerçekleştirilmiştir. Membran içerisinde yer alan nano yapıların polimer gruplarıyla fonksiyonelleştirilmesi bu çalışmayı polimer-nano parçacık etkileşimi olması yönünden benzer nano kompozit membran çalışmalarından farklı kılmıştır. Daha sonra sentezlenen polimer-Im-SiO₂ yapısı H₃PO₄ ile etkileştirilmiş ve nano kompozit membranlar elde edilmiştir. Elde edilen nano kompozit membranlara yapısal ve termal karakterizasyon testleri yapılarak iletkenlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

2. Materyal ve Metod

2.1. SiO₂ sentezi ve fonksiyonelleştirilmesi

İmidazol \geq %99,5 (Im), dimetil sülfoksit \geq %99,9 (DMSO) Sigma-Aldrich' ten alınarak kullanılmıştır. İmidazol gruplarının halka açılması reaksiyonuyla SiO₂ nano parçacıklarıyla etkileştirilip yüzeye tutunması ve fonksiyonel nano yapıların eldesi gerçekleştirilmiştir. Bu işlemler daha önce yaptığımız fonksiyonel nano parçacık sentezi yöntemi kullanılmıştır [40]. Kullanılan SiO₂ nano parçacık miktarı Im molekülünün ağırlıkça %10'u olacak şekilde sentezlenmiştir.

Epoksi fonksiyonel SiO₂ DMSO içerisinde ultrasonik banyoda dağıtılmış ve Im eklenerek azot atmosferinde, 72 saat 100°C' de manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Etanol-su karışımı ile yıkanarak elde edilen Im-SiO₂ nanopartikülleri 80°C' de 72 saat süreyle vakumlu etüvde bekletilmiştir.

Nano parçacıklar fonksiyonelleştirilerek gelişmiş özellikler kazandırılması ve membran sentezine elverişli hale getirilmesi ile ilgili benzer çalışmalar daha önce yapılmıştır [41]. Ancak SiO₂ nano parçacıklarının Im ile etkileştirildikten sonra polimer ana zincirinin modifikasyonunun sağlanması ilk olarak bu çalışma ile gerçekleştirilmiştir.

2.2. Poli (glisidil metakrilat) (PGMA) sentezi

Glisidil metakrilat (>%97) Sigma-Aldrich'ten, ortofosforik asit (>%99) ve toluen (>%99) Merck' ten alınarak kullanılmıştır. Poli (glisidil metakrilat), literatüre göre glisidil metakrilatın serbest radikal polimerizasyonu ile üretilmiştir [42]. Çözücü ve başlatıcı olarak sırasıyla toluen ve AIBN (%1 mol) kullanılmıştır. Reaksiyon azot atmosferinde 75°C' de 4 saat gerçekleştirilmiştir.

2.3. Membran hazırlama

Nano yapıları kompozit membranlar hazırlamak için, elde ettiğimiz Im-SiO₂, serbest radikal polimerizasyonu ile sentezlenen PGMA ile %5 (g/g) oranlarında DMSO ortamında 100°C' de 48 saat etkileştirilmiştir. Im-SiO₂ nano yapılarının %5 oranında kullanılmasının sebebi daha önce yaptığımız çalışmalarda elde ettiğimiz veriler ışığında optimum konsantrasyon olmasıdır. PGMA-Im-SiO₂ kompozit membranlarına molce oranları 1:0.5, 1:1, 1:2 olacak şekilde fosforik asit eklenmiştir. Hazırlanan kompozit membranların bileşimleri ile ilgili detaylı bilgi Çizelge 1' de yer almaktadır.

Çizelge 1. PGMA-ImSiO₂-H₃PO₄ kompozit membranlarının bileşimleri

	PGMA	Im-SiO ₂	H ₃ PO ₄
	(g)	(g)	(g)
PGMA-Im-SiO ₂ -(H ₃ PO ₄) _{0.5}	1	0.05	0.7
PGMA-Im-SiO ₂ -(H ₃ PO ₄) ₁	1	0.05	1.4
PGMA-Im-SiO ₂ -(H ₃ PO ₄) ₂	1	0.05	2.8

2.3. Karakterizasyon

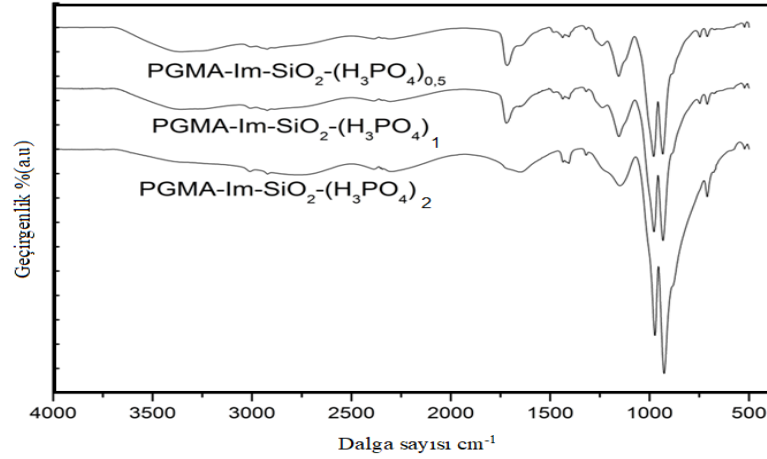
Nanokompozit membranların spektrum çizgileri elde etmek ve hangi bölgelerde pik verdikleri tespit etmek amacıyla FTIR spektrumu ölçümleri yapılmıştır. Bunun için numuneler vakum altında kurutulmuş ve IR spektrumu ATR Sistemi (4000-400 cm^{-1}) Bruker Alpha ile kaydedilmiştir. Fonksiyonel SiO_2 nano parçacıklar ve proton iletken nanokompozit membranlar için yüzey morfolojisi Philips XL 30 SFEG marka taramalı elektron mikroskobu (SEM) tarafından incelenmiştir. Kompozit membranların termal analizleri, termogravimetrik analiz cihazında, 900°C' ye kadar azot atmosferi altında 10°C/dakika ısıtma hızı ile (TA Instruments SDT Q600 thermogravimetric analyzer) ile tespit edilmiştir. Membranlara ait diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) verileri, Perkin Elmer JADE DSC cihazı kullanılarak elde edilmiştir. Ölçümler 10°C/dakika oranında, azot atmosferinde gerçekleştirilmiştir. Numuneler için proton iletkenlik çalışmaları için novo kontrol dielektrik empedansı analizörü kullanılmıştır. Numuneler Pt elektrotlar arasına yerleştirilmiş ve 0.1 Hz^{-3} MHz iletkenlik frekans aralığında ölçülmüştür. Sıcaklık 10°C aralıklarla 20-100°C arasında geçerli olan novo kontrol bir soğutucu sistem ile kontrol altına alınmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. FTIR karakterizasyonu

Organik ve inorganik bileşiklerin tanımlanmasında kullanılan FTIR spektrum cihazı ile nanokompozit membranların spektrum çizgileri elde edilmiş ve hangi bölgelerde pik verdikleri tespit edilmiştir. Şekil 1' deki kompozit membranlar için FTIR spektrumları incelendiğinde, ana matris içerisine nano parçacıkların başarılı bir şekilde yerleştiğini ve modifikasyonun gerçekleştiğini göstermektedir. 1132 cm^{-1} ve 1045 cm^{-1} 'deki pikler Si-O-Si yapısının asimetrik titreşimine ait olmasına rağmen 795 cm^{-1} dalga boyundaki pik ise simetrik yapının varlığını işaret etmektedir. 3435 cm^{-1} dalga boyunda Si-OH yapısının titreşimine ait pik yer almaktadır. 1220 and 1083 cm^{-1} 'de yer alan sinyaller Si-O titreşimini göstermektedir. 954 cm^{-1} yayvan pikler ise Si-OH ve Si-O yapılarına aittir [30, 40, 43-45].

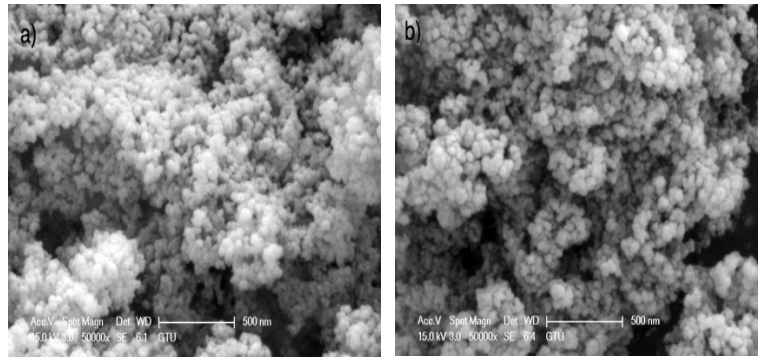
PGMA' nın FTIR spektrumları, epoksi grubunun gerilme titreşiminden kaynaklanan 900 cm^{-1} ' deki absorpsiyon piki, imidazol SiO_2 işlevselleşmesi ile ortadan kalkmıştır. Protonlama sebebiyle karbonil grubu 1720 cm^{-1} de kuvvetli bir pik vermektedir. 1140 cm^{-1} ve 1260 cm^{-1} de kuvvetli pikler ise ester grubunun C-O gerginliğinden kaynaklanmaktadır [46, 47]. İmidazol grubunda sırasıyla hetero aromatik halkanın ve -N-H'nin tipik titreşimlerine karşılık gelen 3200 ve 1640 cm^{-1} 'de iki karakteristik pik göstermektedir [48, 49]. 4000-1800 cm^{-1} arasında kalan yüksek enerji bölgeleri OH, NH ve CH_2 gruplarının titreşimlerinden dolayıdır. 3328 ve 3174 cm^{-1} dalga boyundaki pikler ise imidazol grubundaki NH yapılarından kaynaklanmaktadır. 2700 ve 2300 cm^{-1} dalga boyundaki yayvan bandlar ise N-H yapısı üzerindeki moleküller arası hidrojen bağı oluşumunu göstermektedir. 1800 cm^{-1} civarındaki pikler ise H-C-H, C-O, H-N-H, C-N iskelet yapısını göstermektedir. 1630 cm^{-1} de görülen pikler NH_2 varlığını, 1604 ve 1571 cm^{-1} pikler ise N-H ve C-O titreşimine aittir [40]. FTIR spektrumları incelendiğinde bu sonuçlar, ana matris içerisine nano parçacıkların başarılı bir şekilde yerleştiğini ve modifikasyonun gerçekleştiğini göstermektedir. Kompozit membranların H_3PO_4 ile dop edilmesinden sonra, 500 cm^{-1} ve 1000 cm^{-1} yakınında, H_3PO_4 'ün PO_2 bükülme titreşimi ve P-O simetrik gerginliğinden kaynaklanan iki tepe görülmektedir. Bu sonuçlar polimer ve fosforik asit arasındaki etkileşimin hem karbonil hem de imidazol birimlerinden meydana geldiğini göstermiştir.



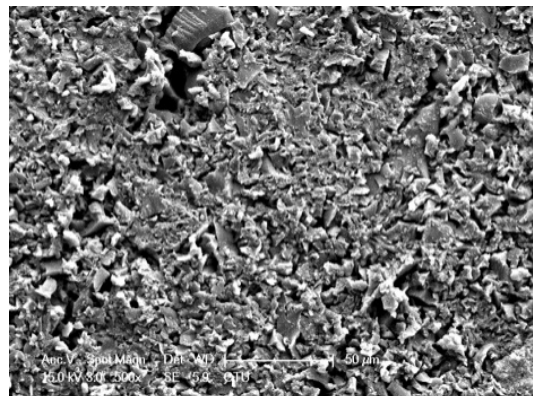
Şekil 1. PGMA-Im-SiO₂-(H₃PO₄)_{0,5}, PGMA-Im-SiO₂-(H₃PO₄)₁, PGMA-Im-SiO₂-(H₃PO₄)₂ membranlarının FTIR sonuçları

3.2. Morfoloji

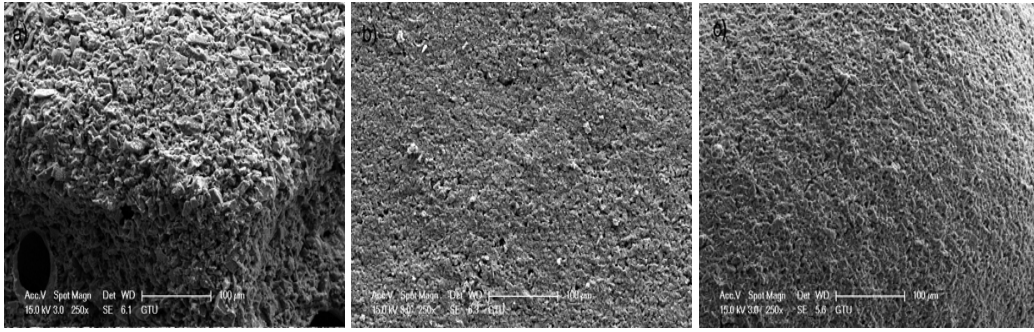
Şekil 2’ de yer alan epoksi SiO₂ ve epoksi SiO₂-Im nano parçacıklarının SEM görüntüsü incelendiğinde, Im ile modifiye edilmiş epoksi SiO₂ nano parçacıklarındaki boyut artışı modifikasyonu doğrulamaktadır. Şekil 3’ te PGMA polimeri ile Im-SiO₂ fonksiyonel nanoparçacığından oluşan kompoziti membranın SEM görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 2. a) Epoksi silika ve **b)** Im-SiO₂ nano parçacıkları SEM görüntüsü



Şekil 3. PGMA-Im-SiO₂ SEM görüntüsü

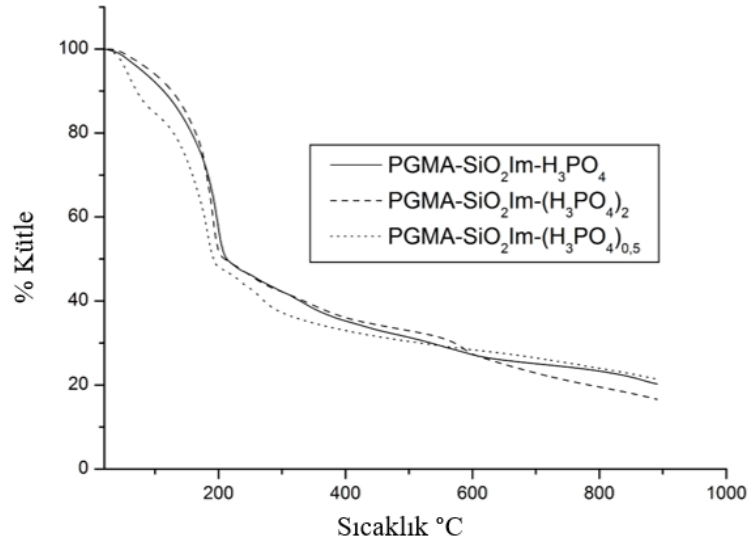


Şekil 4 a) PGMA-Im-SiO₂-(H₃PO₄)_{0.5} membran, **b)** PGMA-Im-SiO₂-(H₃PO₄) membran, **c)** PGMA-Im-SiO₂-(H₃PO₄)₂ membranın SEM görüntüleri

Fosforik asit dop edilmiş kompozit membranların morfolojisini belirlemek için alınan SEM görüntüleri Şekil 4' te incelendiğinde membranlarda herhangi bir faz ayrımının oluşmadığı görülmektedir. Ayrıca membran yapısının pürüzsüz olması, nano yapıların topaklanmaya neden olmadığını membran içinde homojen dağıldığını göstermiştir. Bu sonuç DSC analizi ile desteklenmiştir.

3.3. Termal analiz

Kompozit membranların termal kararlılıkları oda sıcaklığından 900°C' ye kadar termogravimetrik ölçümle değerlendirilmiştir. Fosforik asit yüklü kompozit membranlarda oda sıcaklığından maksimum 210°C' ye kadar termal olarak kararlı olduğu Şekil 5' te görülmüş olup bu sıcaklığa kadar meydana gelen azalmanın sebebi ise nem kaybından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu sıcaklığın üzerindeki kademeli olarak ayrışma, fosforik asidin kendi kendine yoğunlaşmasının yanı sıra polimerin ayrışması nedeniyle suyun serbest kalmasına bağlanabilir.

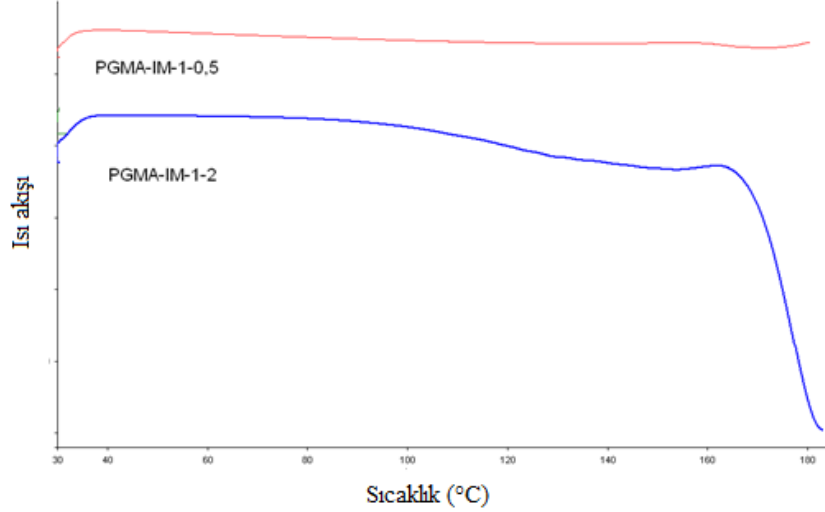


Şekil 5. PGMA-Im-SiO₂-(H₃PO₄)_{0.5}, PGMA-Im-SiO₂-(H₃PO₄)₁, PGMA-Im-SiO₂-(H₃PO₄)₂ membranlarının TGA sonuçları

3.4. Diferansiyel taramalı kalorimetre analizi (DSC)

Malzemeler homojen olduğu ve faz ayrımı olmadığından tek bir Tg değeri oluşmuştur. PGMA polimerinin sahip olduğu Tg değeri 74°C' dir. Serbest hacim teorisine göre nanokompozit yapılarda Tg değeri polimer içerisinde nano yapı eklendiğinde polimerin hareketlerini engellediğinden dolayı saf polimerle karşılaştırıldığında daha yüksek sıcaklıklara kaymaktadır. PGMA-Im-SiO₂-(H₃PO₄)

nanokompozit membranlarında Tg değeri artan H₃PO₄ miktarı ile daha düşük sıcaklıklara indiği Şekil 6 ve Çizelge 2’ de görülmektedir. Bunun sebebi olarak fosforik asit yapının sahip olduğu yumuşatma etkisi olduğu söylenebilir.



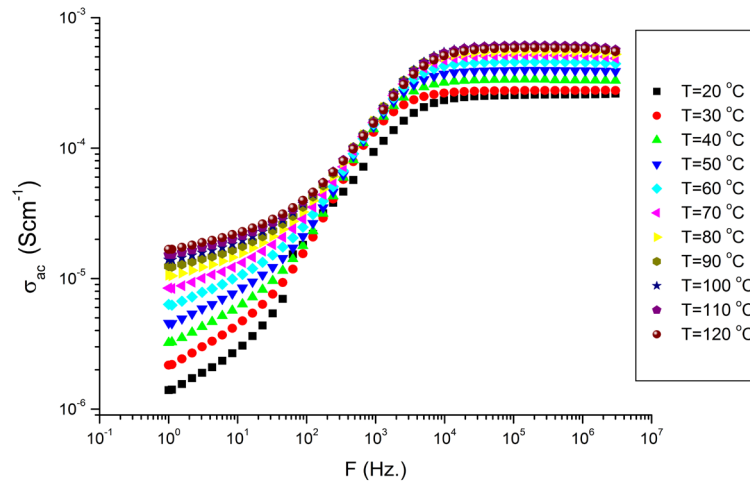
Şekil 6. PGMA-Im-SiO₂-(H₃PO₄)_{0.5} ve PGMA-Im-SiO₂-(H₃PO₄)₂ membranlarının DSC grafiği

Çizelge 2. Nanokompozit membranların Tg değerleri

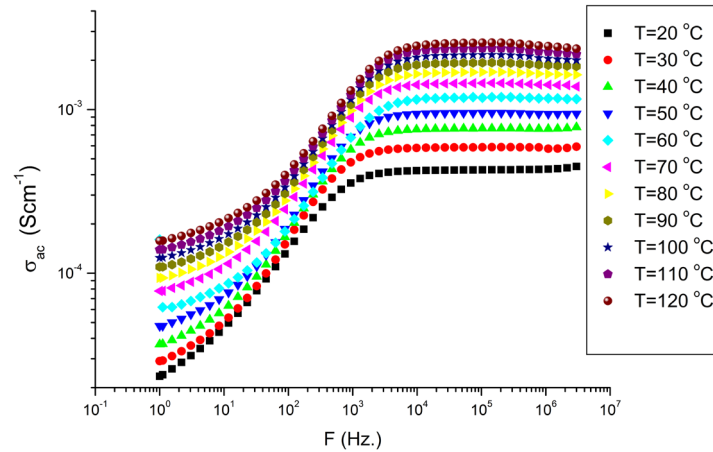
Numune adı	Tg (°C)
Im-PGMA-(H ₃ PO ₄) _{0.5}	164
Im-PGMA-(H ₃ PO ₄)	147
Im-PGMA-(H ₃ PO ₄) ₂	120

3.5. İletkenlik ölçüm

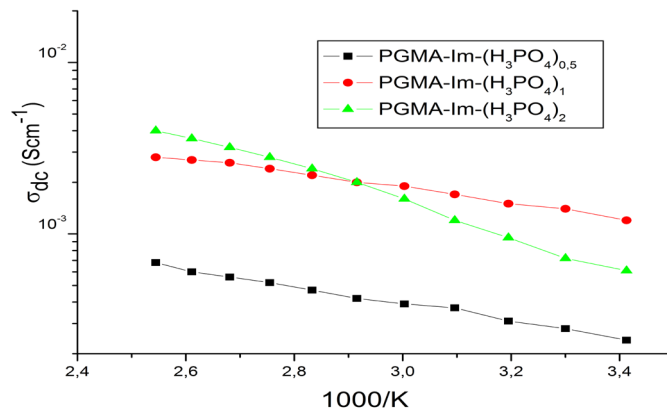
Polimerlerin AC iletkenlikleri, $\sigma_{ac}(\omega)$, empedans ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Nemsiz PGMA-Im-SiO₂-(H₃PO₄)_{0.5} ve PGMA-Im-SiO₂-(H₃PO₄)₂ kompozit membranlarına ait proton iletkenlikleri 20-120°C Şekil 7 ve 8 ‘de gösterilmiştir. Tüm örneklerde düşük frekans bölgesinde elektrot polarizasyonun mevcut olduğu görülmüştür. Sıcaklık ve frekans artışı ile iletkenlik artışı net olarak görülmektedir.



Şekil 7. PGMA-Im-SiO₂-(H₃PO₄)_{0.5} membran için iletkenlik grafiği



Şekil 8. PGMA-Im-SiO₂-(H₃PO₄)₂ membran için iletkenlik grafiği



Şekil 9. PGMA-Im-SiO₂-(H₃PO₄)_x membranların DC iletkenlik grafiği

DC iletkenlik grafiği Şekil 9' de incelendiğinde eklenen fosforik asit miktarının proton iletkenlik üzerinde pozitif katkısının olduğu açıkça görülmektedir. En yüksek proton iletkenlik değeri PGMA-Im-SiO₂-(H₃PO₄)₂ membranı için 120°C 'de 0,04 (Scm⁻¹) olarak ölçülmüştür. Nanokompozit proton iletken membran yapılarında proton iletkenlik, nano parçacık eklendiğinde nano parçacıkların proton geçişini engellemesinden dolayı azalır. Fakat nano yapılar proton iletkenliğe katkı sağlayacak yapılarla fonksiyonel hale getirildiğinde proton iletkenliği artırır. Fosforik asit sistemleri ortama proton sağlarken imidazol grupları proton geçişine katkı sağlamaktadır [40].

Genel olarak, fosforik asit katkılı polimer sistemlerinde proton iletkenliğine katkıda bulunan iki farklı taşıma mekanizması vardır. Birincisi; yapısal difüzyon (Grotthuss mekanizması) iletkenliğin esas olarak fosfat iyonları yoluyla proton taşınması ile kontrol edildiği yani (HPO₄)⁻² ve (H₂PO₄)⁻ iyonları üzerinden gerçekleşen taşınma mekanizmasıdır. İkincisi ise araç mekanizması (vehicle mekanizması) bir NH bölgesinden serbest bir azota atlayan protonun, protonik boşluklar boyunca bir bölgeden diğerine geçerek proton transferinin meydana geldiği mekanizmadır. İmidazol yapısından kaynaklı olarak PGMA-Im-SiO₂-(H₃PO₄)_x sistemleri içinde bu mekanizmanın iletkenliğine katkıda bulunabileceği görülmektedir [41, 50]. Ayrıca, protonlanmış ve protonlanmamış heterosiklik birimler arasında proton taşınması gerçekleşmektedir. Bu mekanizmaya ek olarak bir NH bölgesinden fosfat iyonlarına sıçrayan proton da iletkenliğe katkıda bulunmaktadır. Fosforik asit katkılı PGMA-Im-SiO₂-(H₃PO₄)_x sistemlerinde, doping oranı, proton taşınmasının büyük bölümünün H₃PO₄ ve imidazol birimleri üzerinde gerçekleştiği düşünüldüğünde iletkenliğe katkısının büyük olduğu söylenebilir [51, 52].

4. Sonuçlar

Mevcut çalışmada, nano SiO₂ yapıları imidazol molekülleri ile fonksiyonel yapılara dönüştürülmüştür. GMA monomerinin serbest radikal polimerizasyonu ile üretilen poli (glisidil metakrilat), Im-SiO₂ ile kimyasal olarak modifiye edilmiştir. PGMA zincirinin uç kısmında bulunan epoksi halkaları açılarak imidazol yapısına bağlanmış ve böylece çift yönlü bir etkileşim gerçekleşmiştir. İmidazol fonksiyonel polimerlerinin yapıları FTIR ile kanıtlanmıştır. TG analizi, numunelerin termal olarak en az 210°C' ye kadar kararlı olduğunu göstermiştir. DSC sonuçları, malzemelerin homojenliğini ve ayrıca katkı maddesinin plastikleştirici etkisini göstermiştir. Nanokompozit membranların proton iletkenliği, dopant konsantrasyonu ve sıcaklık ile artmıştır. Membranların iletkenlik izotermeleri, daha yüksek asit kompozisyonlarında iletkenliğin arttığını ve fosforik asit yapısının proton iletkenlik mekanizmasına doğrudan katkı sağladığını göstermiştir. Kompozit membranların yapısında hem imidazol yapısının olması hem asit yapının bulunması membranın yüksek sıcaklıklarda ve nemsiz olarak kullanabilmesine olanak sağlamıştır.

Kaynaklar

- [1] elik S, Akbey , Graf R, Bozkurt A, Spiess HW. Anhydrous proton-conducting properties of triazole–phosphonic acid copolymers: a combined study with MAS NMR. *Physical Chemistry Chemical Physics* 2008; 10: 6058-6066.
- [2] Aslan A, Bozkurt A. An investigation of proton conductivity of nanocomposite membranes based on sulfated nano-titania and polymer. *Solid State Ionics* 2013; 239: 21-27.
- [3] Gohil JM, Karamanev DG. Preparation and characterization of polyvinyl alcohol polyelectrolyte-based membrane-anode assembly for hybrid Fe³⁺/H₂ redox flow microbial fuel cell. *Chemical Engineering Journal* 2015; 259: 25-33.
- [4] Chen J, Li D, Koshikawa H, Asano M, Maekawa Y. Crosslinking and grafting of polyetheretherketone film by radiation techniques for application in fuel cells. *Journal of Membrane Science* 2010; 362: 488-494.
- [5] Wong CY, Wong WY, Loh KS, Daud WRW, Lim KL, Khalid M, Walvekar R. Development of poly (vinyl alcohol)-based polymers as proton exchange membranes and challenges in fuel cell application: a review. *Polymer Reviews* 2020; 60: 171-202.
- [6] Rosli RE, Sulong AB, Daud WRW, Zulkifley MA, Husaini T, Rosli MI, Haque MA. A review of high-temperature proton exchange membrane fuel cell (HT-PEMFC) system. *International Journal of Hydrogen Energy* 2017; 42: 9293-9314.
- [7] Sen U, elik S, Ata A, Bozkurt A. Anhydrous proton conducting membranes for PEM fuel cells based on Nafion/Azole composites. *International journal of hydrogen energy* 2008; 33: 2808-2815.
- [8] Wang Y, Diaz DFR, Chen KS, Wang Z, Adroher XC. Materials, technological status, and fundamentals of PEM fuel cells–a review. *Materials Today* 2020; 32: 178-203.
- [9] Aslan A, Bozkurt A. Nanocomposite polymer electrolyte membranes based on poly (vinylphosphonic acid)/TiO₂ nanoparticles. *Journal of Materials Research* 2012; 27: 3090.
- [10] Beydaghi H, Javanbakht M, Kowsari E. Synthesis and characterization of poly (vinyl alcohol)/sulfonated graphene oxide nanocomposite membranes for use in proton exchange membrane fuel cells (PEMFCs). *Industrial & Engineering Chemistry Research* 2014; 53: 16621-16632.
- [11] Danwanichakul P, Sirikhajornnam P. An investigation of chitosan-grafted-poly (vinyl alcohol) as an electrolyte membrane. *Journal of Chemistry* 2013; 2013.
- [12] Guo M, Fang J, Xu H, Li W, Lu X, Lan C, Li K. Synthesis and characterization of novel anion exchange membranes based on imidazolium-type ionic liquid for alkaline fuel cells. *Journal of Membrane Science* 2010; 362: 97-104.
- [13] Kim D, Jung J, Park SI, Seo J. Preparation and characterization of LDPE/PVA blend films filled with glycerin-plasticized polyvinyl alcohol. *Journal of Applied Polymer Science* 2015; 132: 22.

- [14] Kim DS, Park HB, Rhim JW, Lee YM. Preparation and characterization of crosslinked PVA/SiO₂ hybrid membranes containing sulfonic acid groups for direct methanol fuel cell applications. *Journal of Membrane Science* 2004; 240: 37-48.
- [15] Koohmareh GA, Hajian M, Fallahi H. Graft Copolymerization of Styrene from poly (vinyl alcohol) via RAFT Process. *International Journal of Polymer Science* 2011; 2011.
- [16] Kreuer KD. Proton conductivity: materials and applications. *Chemistry of materials* 1996; 8: 610-641.
- [17] Li P, Wu W, Liu J, Shi B, Du Y, Li Y, Wang J. Investigating the nanostructures and proton transfer properties of Nafion-GO hybrid membranes. *Journal of Membrane Science* 2018; 555: 327-336.
- [18] Liu S, Wang L, Zhang B, Liu B, Wang J, Song Y. Novel sulfonated polyimide/polyvinyl alcohol blend membranes for vanadium redox flow battery applications. *Journal of Materials Chemistry* 2015; 3: 2072-2081.
- [19] Yan F, Yu S, Zhang X, Qiu L, Chu F, You J, Lu J. Enhanced proton conduction in polymer electrolyte membranes as synthesized by polymerization of protic ionic liquid-based microemulsions. *Chemistry of Materials* 2019; 21: 1480-1484.
- [20] Lin CH, Yang MC, Wei HJ. Amino-silica modified Nafion membrane for vanadium redox flow battery. *Journal of Power Sources* 2015; 282: 562-571.
- [21] Lin HL, Wang SH. Nafion/poly (vinyl alcohol) nano-fiber composite and Nafion/poly (vinyl alcohol) blend membranes for direct methanol fuel cells. *Journal of membrane science* 2014; 452: 253-262.
- [22] Mokhtar M, Majlan EH, Ahmad A, Tasirin SM, Daud WRW. Effect of ZnO filler on PVA-alkaline solid polymer electrolyte for aluminum-air battery applications. *Journal of The Electrochemical Society* 2018; 165: A2483.
- [23] Palani PB, Kannan R, Rajashabala S, Rajendran S, Velraj G. Studies on PVA based nanocomposite Proton Exchange Membrane for Direct methanol fuel cell (DMFC) applications. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 2015; 73: 12128.
- [24] Pu H, Pan H, Qin Y, Wan D, Yuan J. Phosphonic acid-functionalized hollow silica spheres by nitroxide mediated polymerization. *Materials Letters* 2010; 64: 1510-1512.
- [25] Wang H, Holmberg BA, Huang L, Wang Z, Mitra A, Norbeck JM, Yan Y. Nafion-bifunctional silica composite proton conductive membranes. *Journal of Materials Chemistry* 2002; 12: 834-837.
- [26] Zhu Y, Shi J, Chen H, Shen W, Dong X. A facile method to synthesize novel hollow mesoporous silica spheres and advanced storage property. *Microporous and Mesoporous Materials* 2005; 84: 218-222.
- [27] Lee KH, Chu JY, Kim AR, Yoo DJ. Effect of functionalized SiO₂ toward proton conductivity of composite membranes for PEMFC application. *International Journal of Energy Research* 2019; 43: 5333-5345.
- [28] Amiin IS, Li W, Wang G, Tu Z, Tang H, Pan M, Zhang H. Toward anhydrous proton conductivity based on imidazole functionalized mesoporous silica/nafion composite membranes. *Electrochimica Acta* 2015; 160: 185-194.
- [29] Jalani NH, Dunn K, Datta R. Synthesis and characterization of Nafion®-MO₂ (M= Zr, Si, Ti) nanocomposite membranes for higher temperature PEM fuel cells. *Electrochimica Acta* 2005; 51: 553-560.
- [30] Jang SY, Han SH. Sulfonated polySEPS/hydrophilic-SiO₂ composite membranes for polymer electrolyte membranes (PEMs). *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 2015; 23: 285-289.
- [31] Jankiewicz BJ, Jamiola D, Choma J, Jaroniec M. Silica-metal core-shell nanostructures. *Advances in colloid and interface science* 2012; 170: 28-47.
- [32] Binsu VV, Nagarale RK, Shahi VK. Phosphonic acid functionalized aminopropyl triethoxysilane-PVA composite material: organic-inorganic hybrid proton-exchange membranes in aqueous media. *Journal of Materials Chemistry* 2005; 15: 4823-4831.
- [33] Kalappa P, Lee JH. Proton conducting membranes based on sulfonated poly (ether ether ketone)/TiO₂ nanocomposites for a direct methanol fuel cell. *Polymer international* 2007; 56: 371-375.

- [34] Kamoun EA, Youssef ME, Abu-Saied MA, Fahmy A, Khalil HF, Abdelhai F. Ion conducting nanocomposite membranes based on PVA-HA-HAP for fuel cell application: II. Effect of modifier agent of PVA on membrane properties. *Int. J. Electrochem. Sci* 2015; 10: 6627-6644.
- [35] Kang S, Hong SI, Choe CR, Park M, Rim S, Kim J. Preparation and characterization of epoxy composites filled with functionalized nanosilica particles obtained via sol-gel process. *Polymer* 2001; 42: 879-887.
- [36] Martwiset S, Woudenberg RC, Granados-Focil S, Yavuzcetin O, Tuominen MT, Coughlin EB. Intrinsically conducting polymers and copolymers containing triazole moieties. *Solid State Ionics* 2007; 178: 1398-1403.
- [37] Kausar A. Fabrication and characteristics of poly (benzimidazole/fluoro/ether/siloxane/amide)/sulfonated polystyrene/silica nanoparticle-based proton exchange membranes doped with phosphoric acid. *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials* 2015; 64: 184-191.
- [38] Ke CC, Li XJ, Shen Q, Qu SG, Shao ZG, Yi BL. Investigation on sulfuric acid sulfonation of in-situ sol-gel derived Nafion/SiO₂ composite membrane. *International journal of hydrogen energy* 2011; 36: 3606-3613.
- [39] Mishra AK, Kuila T, Kim DY, Kim NH, Lee JH. Protic ionic liquid-functionalized mesoporous silica-based hybrid membranes for proton exchange membrane fuel cells. *Journal of Materials Chemistry* 2012; 22: 24366-24372.
- [40] Aslan A, Gümüşdereli E, Soydan AM. Producing of imidazol functional SiO₂ nanoparticles/Nafion nanocomposite membranes for PEMFC applications. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 2019; 34: 351-363.
- [41] Amiin IS, Li W, Wang G, Tu Z, Tang H, Pan M, Zhang H. Toward anhydrous proton conductivity based on imidazole functionalized mesoporous silica/nafion composite membranes. *Electrochimica Acta* 2015; 160: 185-194.
- [42] Çelik SÜ, Aslan A, Bozkurt A. Phosphoric acid-doped poly (1-vinyl-1, 2, 4-triazole) as water-free proton conducting polymer electrolytes. *Solid State Ionics* 2008; 179: 683-688.
- [43] Aslan A, Elanthikkal S, Bozkurt A. Chitosan/hollow silica sphere nanocomposites for wound healing application. *Journal of Materials Research* 2019; 34: 231-239.
- [44] Kim JH, Kim SK, Nam K, Kim DW. Composite proton conducting membranes based on Nafion and sulfonated SiO₂ nanoparticles. *Journal of membrane science* 2012; 415: 696-701.
- [45] Aslan A, Gölcük K, Bozkurt A. Nanocomposite polymer electrolytes membranes based on Poly (vinylphosphonic acid)/SiO₂. *Journal of Polymer Research* 2012; 19: 22.
- [46] Aslan A, Çelik SÜ, Bozkurt A. Proton-conducting properties of the membranes based on poly (vinyl phosphonic acid) grafted poly (glycidyl methacrylate). *Solid State Ionics* 2009; 180: 1240-1245.
- [47] Aslan A, Bozkurt A. Bioinspired blend membranes based on adenine and guanine functional poly (glycidyl methacrylate). *Langmuir* 2010; 26: 13655-13661.
- [48] Çelik SÜ, Bozkurt A. Preparation and proton conductivity of acid-doped 5-aminotetrazole functional poly (glycidyl methacrylate). *European polymer journal* 2008; 44: 213-218.
- [49] Çelik SÜ, Bozkurt A, Hosseini SS. Alternatives toward proton conductive anhydrous membranes for fuel cells: Heterocyclic protogenic solvents comprising polymer electrolytes. *Progress in Polymer Science* 2012; 37: 1265-1291.
- [50] Hori Y, Chikai T, Ida T, Mizuno M. Local structure and hydrogen bond characteristics of imidazole molecules for proton conduction in acid and base proton-conducting composite materials. *Physical Chemistry Chemical Physics* 2018; 20: 10311-10318.
- [51] Chakraborty C, Rana U, Pandey RK, Moriyama S, Higuchi M. One-dimensional anhydrous proton conducting channel formation at high temperature in a pt (ii)-based metallo-supramolecular polymer and imidazole system. *ACS Applied Materials & Interfaces* 2017; 9: 13406-13414.
- [52] Zięba S, Dubis AT, Gzella AK, Ławniczak P, Pogorzelec-Glaser K, Łapiński A. Toward a new type of proton conductor based on imidazole and aromatic acids. *Physical Chemistry Chemical Physics* 2019; 21: 17152-17162.

TÜRKİYE’NİN ENERJİ TALEBİNİ TAHMİN ETMEK İÇİN TULUMLULAR SÜRÜ ALGORİTMASINA DAYALI BİR UYGULAMA

Murat ASLAN^{1*}

¹Şırnak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Şırnak, 73000, Türkiye
Geliş tarihi: 24.03.2021 Kabul tarihi: 03.05.2021

ÖZET

Enerji talebinin tahmini, her ülke için oldukça önemli bir konudur. Çünkü bir ülkenin ekonomisi, enerji talebinden doğrudan etkilenmektedir. Bu nedenle, yapılan bu çalışmada, Türkiye’nin gelecekteki enerji talebini tahmin etmek için tulumlular sürü algoritması (TSA) tabanlı doğrusal bir yaklaşım önerilmektedir. Doğrusal modelin elde edilmesi aşamasında, bir ülkenin gayri safi yurtiçi hasıla, nüfus, ithalat ve ihracat verileri modelin giriş parametreleri olarak alınmıştır. Daha sonra bu parametrelerin optimum ağırlık katsayılarını bulmak amacıyla optimizasyon problemlerinin çözümü için önerilmiş olan popülasyon tabanlı TSA algoritması kullanılmıştır. Önerilen modelin eğitim ve test aşaması için Türkiye’nin 1979-2011 arasındaki yıllara ait olan veri seti kullanılmıştır. Doğrusal model oluşturulduktan sonra, Türkiye’nin 2012’den 2030’a kadar olacak şekilde yaklaşık olarak 20 yıllık bir süre için enerji talebi, üç farklı muhtemel senaryo için tahmin edilmiştir. Daha sonra ise önerilen model ile elde edilen deneysel sonuçlar, Türkiye’nin enerji talebini için literatürde önerilmiş olan diğer algoritmaların elde ettiği deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlar ve karşılaştırmalar değerlendirildiğinde, bu çalışma kapsamında önerilmiş olan TSA tabanlı model, Türkiye’nin geleceğe dönük enerji talebini tahmin etmek için rekabetçi ve başarılı sonuçlar elde etmiştir.

Anahtar Kelimeler: Doğrusal model, enerji talebi, tahmin, tulumlular sürü algoritması

AN APPLICATION BASED ON THE TUNICATE SWARM ALGORITHM FOR PREDICTION THE ENERGY DEMAND OF TURKEY

ABSTRACT

The estimation of energy demand is a serious topic for policy makers. Because the economy of a country is directly affected by energy demand. On account of this, in this study, a tunicate swarm algorithm (TSA) based linear approach has proposed for estimation the energy demand of Turkey for future. Gross domestic product, population, import and export are taken as parameters for linear model. And then, TSA algorithm which is a population-based swarm algorithm proposed for solving global optimization problems has used to find the optimum weight coefficients of these parameters. For training and testing phase of proposed model the data set of Turkey in 1979 to 2011 are used. After the model is created, the energy demand of Turkey approximately for a 20-year period from 2012 to 2030 are estimated for different three scenarios. The obtained experimental result of proposed model has been compared with the state-of-art algorithms proposed for solving energy demand of Turkey in the literature. The experimental results and comparisons show that the proposed TSA based model is highly competitive and robust optimizer for estimation the energy demand of Turkey.

Keywords: Energy demand, estimation, linear model, tunicate swarm algorithm

* e-posta: murataslan@sirnak.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7459-3035>

1. Giriş

Dünya Enerji Görüşü (World Energy Outlook) senaryosuna göre, Dünyadaki enerji kullanımının 2030'a kadar istikrarlı bir şekilde artması beklenmektedir [1, 2]. Gelişmekte olan ülkeler, dünyada üretilen enerjinin kısmen bir kısmını tüketmesine rağmen, bu ülkelerin enerji talebi gelişmiş ülkelere kıyasla daha hızlı bir şekilde artmaktadır [3, 4]. Bundan dolayı da birçok üretim ve tüketim uygulamasının kaynağını oluşturan enerjinin dünya ekonomisindeki rolü ve önemi gittikçe artmaktadır [5, 6]. Türkiye'de genç nüfusun hızlı bir şekilde artması ile birlikte kentleşme, sosyo-ekonomik gelişme vb. ihtiyaçlara olan gereksinim artmaktadır ve bunun sonucu olarak enerji talebine olan gereksinim de artış göstermektedir [7, 8]. Dünyada enerji kullanımının hızla artması, yenilenemeyen enerji kaynaklarının azalmasına ve bununla birlikte ozon tabakasının incelmeye başlaması, küresel ısınma, iklim değişikliği vb. çevresel sorunların oluşmasına neden olmaktadır [9]. Bundan dolayı elektrik enerjisi gibi depolanamayan enerjilerin planlı bir şekilde üretilmesi ve kullanılması oldukça önemlidir [10]. Verimli bir enerji planlaması, geçmişte ve mevcut zamanda tüketilen enerjinin en iyi şekilde analiz edilerek, en az hata ile geleceğe dair tahminlerin oluşturulmasına dayanır. Sonuç olarak verimli bir enerji üretimi ve tüketimi için her devletin kendine ait bir çalışma yapısı bulunmaktadır [6, 11].

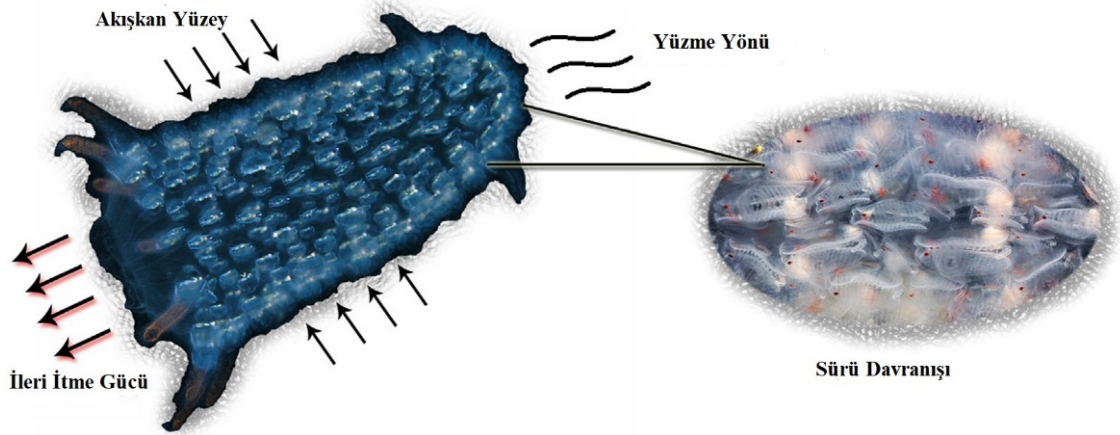
Modern istatistiksel yöntemlerle gelecekteki enerji talebinin planlanması ve tahmin edilmesi Türkiye'de 1984'ten beri resmi olarak gerçekleştirilmektedir [3]. Türkiye'de Enerji talep tahmini için Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB), Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) ve Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) adlı kurumlar çalışmalarını yürütmektedirler [12, 13]. Yakın zamanda yapılmış olan birçok çalışmada araştırmacılardan bazıları istatistiksel yöntemleri [3, 14-17], bazıları yapay sinir ağlarını (YSA) [10, 16, 18] ve bazıları da popülasyon tabanlı metasezgisel yaklaşımları [6-8, 13, 19-29] kullanarak Türkiye'nin gelecek yıllarda ihtiyaç duyacağı enerji talebini tahmin etmeye çalışmışlardır.

Optimizasyon tabanlı birçok gerçek dünya probleminin çözümünde metasezgisel yöntemler oldukça etkili yöntemlerdir. Metasezgisel yöntemler, problemde bağımsız algoritmalar oldukları için birçok farklı probleme kolay bir şekilde uyarlanabilmektedir. Yapılan bu çalışmada da Türkiye'nin gelecekteki enerji talebi tahminini yapmak amacıyla 2020 yılında Kaur ve ark. tarafından literatüre kazandırılmış olan popülasyon tabanlı stokastik bir algoritma olan tulumlular sürü algoritmasına (tunicate swarm algorithm – TSA) dayalı bir yaklaşım geliştirilmiştir [30]. Önerilen TSA tabanlı yaklaşımda eğitim ve test sürecinde, ETKB ve TÜİK'in 1979-2011 yıllarına ait gayri safi yurtiçi hasıla (GSYİH), nüfus, ithalat ve ihracat verileri kullanılmıştır [6, 31, 32]. Daha sonra elde edilen model kullanılarak farklı senaryolar için tahmini enerji talepleri elde edilmiştir.

Bu çalışmanın geri kalanı şu şekilde düzenlenmiştir; Bölüm 2'de, TSA algoritmasının çalışma yapısı detaylandırılmıştır. Bölüm 3'te, TSA kullanarak Türkiye'nin enerji talebinin tahmini için kullanılacak model detaylandırılmıştır. Bölüm 4'te deneysel sonuçlar verilmiştir. Son olarak Bölüm 5'te ise sonuç ve tartışmalar sunulmuştur.

2. Tulumlular Sürü Algoritması (Tunicate Swarm Algorithm – TSA)

TSA algoritması Kaur ve ark. tarafından tulumluların (tunicate) yiyecek arama sürecindeki davranışlarının modellenmesi üzerine geliştirilen sürü zekâsına dayalı popülasyon tabanlı bir algoritmadır [30]. Tulumlular parlak bir su canlısıdır ve metrelerce uzaktan görülebilen soluk mavi-yeşil renkte bir ışık yayarlar. Tulumluların şekli bir ucu açık diğer ucu kapalı silindir gibidir [33]. Şekil 1'de tulumluların doğal yaşam alanı verilmiştir.



Şekil 1. Tulumlular için doğal yaşam alanı [30]

Her bir tulumlunun büyüklüğü sadece birkaç milimetredir. Her tulumluda, tüm bireylerin birleşmesine yardımcı olan ortak bir jelatinimsi tunik vardır. Bununla birlikte, her bir tulumlu, denizden suyu ayrı ayrı emer ve atriyal sifonlar vasıtasıyla açık ucundan ileriye doğru bir hareketlenme (Jet propulsion) gerçekleştirir [30]. Besin kaynağının ne olduğu konusunda bir fikri olmamasına rağmen tulumlular, denizde besin kaynağının yerini bulma yeteneğine sahiptirler. Tulumlular, besin kaynağına ulaşırken Jet propulsion ve sürü davranışı (swarm behavior) yapılarını kullanmaktadırlar. Tulumlular, Jet propulsion davranışı sırasında üç davranış sergilerler. Bunlar; besin arama işlemi sırasında tulumlular arasında çakışmaların engellenmesi, herhangi bir tulumlunun sürekli olarak kendini en iyi uygunluk değerine sahip bireye doğru hareketlendirmeye çalışması ve kendini sürekli olarak en iyi bireye yakın tutmaya çalışmasıdır. Tulumlular arasında çakışmaların engellenmesi için, mevcut tulumlunun yeni konumu oluştururken \vec{A} vektörü kullanılmaktadır ve \vec{A} vektörü aşağıda verilen eşitliklere göre hesaplanmaktadır [30].

$$\vec{A} = \frac{\vec{G}}{\vec{M}} \quad (1)$$

$$\vec{G} = c_2 + c_3 - \vec{F} \quad (2)$$

$$\vec{F} = 2 \cdot c_1 \quad (3)$$

Burada, \vec{G} yer çekimi kuvvetini ve \vec{F} okyanusun derinliklerindeki suyun akış yönünü ifade eder. c_1 , c_2 ve c_3 ise $[0,1]$ aralığında oluşturulan rastgele bir ondalıklı sayıyı ifade eder. Arama uzayındaki tulumlular (arama ajanları) arasındaki sosyal bağı ifade eden \vec{M} vektörü ise eşitlik (4)'e göre hesaplanmaktadır [30].

$$\vec{M} = [P_{min} + c_1 \cdot P_{max} - P_{min}] \quad (4)$$

Burada P_{min} ve P_{max} değerleri sosyal etkileşim yapmak için başlangıç ve ikincil hızları ifade etmektedir ve bu değerler sırasıyla 1 ve 4 olarak kabul edilmiştir [30]. Komşular arasındaki çakışmalar engellendikten sonra arama ajanları en iyi besin değerine sahip komşu tulumluya doğru hareket etmeye başlarlar ve bu hareketlenme eşitlik (5)'te verilmiştir [30].

$$\overrightarrow{PD} = |\overrightarrow{FS} - r_{rand} \cdot \overrightarrow{P_p(x)}| \quad (5)$$

Burada \overrightarrow{PD} besin kaynağı ile arama ajanı arasındaki (konumu güncellenecek tulumlu) mesafeyi, x kaçınıcı iterasyonda olduğunu, \overrightarrow{FS} en iyi besin değerine sahip tulumlunun konumunu, $\overrightarrow{P_p(x)}$ vektörü mevcut tulumlunun konumunu ve son olarak r_{rand} ise $[0,1]$ aralığında üretilen rastgele ondalıklı bir değeri göstermektedir. $\overrightarrow{P_p(x)}$ için yeni konum ise eşitlik (6)'ya göre hesaplanmaktadır [30].

$$\overrightarrow{P_p(x')} = \begin{cases} \overrightarrow{FS} + \vec{A} \cdot \overrightarrow{PD} , & \text{if } r_{rand} \geq 0.5 \\ \overrightarrow{FS} - \vec{A} \cdot \overrightarrow{PD} , & \text{if } r_{rand} < 0.5 \end{cases} \quad (6)$$

Burada verilen $\overrightarrow{P_p(x')}$, besin kaynağı olan \overrightarrow{FS} 'nin konumunu göre $\overrightarrow{P_p(x)}$ için oluşturulan yeni konumu ifade etmektedir. Tulumluların sürü davranışının matematiksel olarak ifade etmek için, ilk iki en iyi optimum çözüm hafızaya alınır ve diğer arama ajanlarının konumları, bu kaydedilen en iyi çözümlerin konumuna göre güncellenmektedir. Aşağıda verilen eşitlik, tulumluların sürü davranışı göstermektedir [30]:

$$\overrightarrow{P_p(x+1)} = \frac{\overrightarrow{P_p(x)} + \overrightarrow{P_p(x+1)}}{2 + c_1} \quad (7)$$

Her bir tulumlular için elde edilen yeni konum, tulumluların mevcut konumu ile tanımlanan silindirik veya koni şeklindeki bir yerde oluşturulan rastgele yeni bir konum olacaktır. TSA algoritmasının çalışma adımları Şekil 2'de verilmiştir.

- | |
|---|
| <p>Adım 1: Tulumlular için başlangıç popülasyonunu ($\overrightarrow{P_p}$) oluştur</p> <p>Adım 2: Başlangıç parametrelerini ve durdurma kriterini belirle</p> <p>Adım 3: Başlangıç popülasyonu için uygunluk değerlerini hesapla</p> <p>Adım 4: En iyi uygunluk değerine sahip tulumlunun konumunu belirle</p> <p>Adım 5: Eşitlik (7)'yi kullanarak her bir tulumlu için yeni bir konum oluştur</p> <p>Adım 6: Arama uzayının dışına çıkan tulumluların konumunu güncelle</p> <p>Adım 7: Tulumluların yeni konumu için uygunluk değerlerini hesapla</p> <p>Adım 8: Durdurma kriteri sağlanıncaya kadar Adım 5-8 arasını tekrarla</p> <p>Adım 9: Durdurma kriteri sağlandığında, en iyi çözümü getir</p> |
|---|

Şekil 2. TSA algoritmasının çalışma adımları [30]

TSA algoritması 2020 yılında Kaur ve ark. tarafından literatüre kazandırılmış olan bir algoritma olduğu için TSA algoritması kullanılarak yapılan çalışma sayısı da azdır. Bu çalışmalardan bazıları şunlardır: Fetouh ve Elsayed yapmış oldukları çalışmada tam otomatik dağıtım ağlarının optimum

kontrolü ve çalışması probleminin çözümü için TSA algoritması tabanlı bir yaklaşım geliştirmişlerdir [34], bir başka çalışmada ise Chander ve Vijaya, TSA algoritması korona virüs verilerinin kümelmesi amacıyla kullanmışlardır [35].

3. TSA Algoritması ile Türkiye için Enerji Talep Tahminin Gerçekleştirilmesi

Bir ülkenin toplam enerji ihtiyacını belirlemek için gayri safi yurtiçi hasıla (GSYİH), nüfus, ithalat ve ihracat verileri oldukça belirleyici olmaktadır. Yapılan bu çalışmada da bu veriler kullanılarak TSA tabanlı doğrusal (linear) bir model geliştirilmiştir. Oluşturulan model de GSYİH, nüfus, ithalat ve ihracat birer bağımsız değişken olarak tanımlanmıştır. Daha sonra doğrusal model oluşturulurken her bir değişken için bir ağırlık belirlenmekte ve böylece her bir değişkenin toplam enerji ihtiyacına olan etkisi belirlenmektedir. Eğitim ve test verisi olarak ETKB ve TİK'in 1979-2011 yılları arasındaki veri seti kullanılmıştır. Daha sonra TSA algoritması kullanılarak, her bir değişkenin toplam enerji ihtiyacına olan ağırlıkları belirlenmektedir. Bu çalışma kapsamında kullanılmış olan doğrusal model Eşitlik (8)'de verilmiştir.

$$E_{linear} = w_1 + w_2 \cdot X_1 + w_3 \cdot X_2 + w_4 \cdot X_3 + w_5 \cdot X_4 \quad (8)$$

Eşitlik (8)'de verilmiş olan E_{linear} vektörü elde edilen doğrusal modeli, $X_1 - X_4$ değişkenleri GSYİH, nüfus, ithalat ve ihracat değişkenlerine, w_1 bağımsız bir ağırlığı, $w_2 - w_5$ ise her bir değişkenin enerji tahmine olan etkisini gösteren ağırlıkları ifade etmektedir. Doğrusal model oluşturulduktan sonra ise, Eşitlik (9)'da verilen amaç fonksiyonu kullanılarak, TSA algoritması ile $w_1 - w_5$ aralığındaki ağırlıklar için optimum değerler belirlenmeye çalışılmaktadır. Eşitlik (9)'da verilen amaç fonksiyonu ile oluşturulan doğrusal model ile elde edilen enerji miktarı ile beklenen enerji miktarı arasındaki fark hesaplanarak toplam hata tespit edilmektedir. Toplam hata sifira yaklaştıkça, oluşturulan doğrusal modelin iyi sonuçlar elde edeceği sonucuna varılmaktadır.

$$\min f(x) = \sum_{i=1}^N (E_i^{gözlenn} - E_i^{tahmin})^2 \quad (9)$$

Eşitlik (9)'da verilmiş olan $E_i^{gözlenn}$ ve E_i^{tahmin} değerleri, i . veri için sırasıyla beklenen ve tahmin edilen enerji değerlerini ve N değeri ise toplam veri sayısını göstermektedir.

4. Deneysel Sonuçlar

1979 ile 2011 yılları arasında Türkiye'de talep edilen enerji miktarı Çizelge 1'de verilen ithalat, nüfus, ihracat ve GSYİH verileri kullanılarak gözlemlenmiştir. Çizelge 1'deki veriler TİK ve ETKB kurumlarının elde ettiği verilerdir. Geliştirilen TSA tabanlı doğrusal model, Çizelge 1'de verilmiş olan veri seti üzerine uygulanmıştır. Daha sonra ise önerilen model kullanılarak, belirli senaryolar üzerinde 2012-2030 arasındaki yıllar için beklenen enerji talebi tahmin edilmiştir. Türkiye'nin enerji talep tahmini için literatüre kazandırılmış olan yerçekimi arama algoritması (GSA) ve yabancı ot optimizasyonu (IWO) [13], farksal gelişim (DE) [19], parçacık sürü optimizasyonu ve karınca kolonisi algoritması tabanlı hibrit bir yaklaşım olan HAPE [23], karınca kolonisi optimizasyonu (ACO) [26], parçacık sürü optimizasyonu (PSO) [29] ve girdap arama (VS) [25] algoritmaları da deneysel çalışmalarında Çizelge 1'de verilmiş olan veri setini kullanmışlardır. Bu algoritmalar ile adil bir deneysel karşılaştırma yapılması amacıyla önerilen algoritmanın kontrol parametreleri karşılaştırmalarda

kullanılan bu algoritmaları ile aynı olacak şekilde belirlenmiş olup, popülasyon boyutu 100 ve durdurma kriteri olan fonksiyon değerlendirme sayısı (MaxFEs) 5×10^5 olarak seçilmiştir. Ayrıca karşılaştırılan algoritmalarda olduğu gibi önerilen algoritma da birbirinden bağımsız 10 kez çalıştırılmış olup, elde edilen en iyi sonuçlar karşılaştırmalarda kullanılmıştır.

Çizelge 1. 1979-2011 arasındaki yıllar için Türkiye'nin enerji ihtiyacını gösteren veri seti [25]

Yıl	Enerji Talebi (MTB)	GSYİH (\$10 ⁹)	Nüfus (\$10 ⁹)	İthalat (\$10 ⁹)	İhracat (\$10 ⁹)	Yıl	Enerji Talebi (MTB)	GSYİH (\$10 ⁹)	Nüfus (\$10 ⁹)	İthalat (\$10 ⁹)	İhracat (\$10 ⁹)
1979	30.71	82	45.53	5.07	2.26	1996	69.86	184	62.67	43.63	23.22
1980	31.97	68	44.44	7.91	2.91	1997	73.78	192	63.82	48.56	26.26
1981	32.05	72	45.54	8.93	4.7	1998	74.71	207	65	45.92	26.97
1982	34.39	64	46.69	8.84	5.75	1999	76.77	187	66.43	40.67	26.59
1983	35.7	60	47.86	9.24	5.73	2000	80.5	200	67.42	54.5	27.78
1984	37.43	59	49.07	10.76	7.13	2001	75.4	146	68.37	41.4	31.33
1985	39.4	67	50.31	11.34	7.95	2002	78.33	181	69.3	51.55	36.06
1986	42.47	75	51.43	11.1	7.46	2003	83.84	239	70.23	69.34	47.25
1987	46.88	86	52.56	14.16	10.19	2004	87.82	299	71.15	97.54	63.17
1988	47.91	90	53.72	14.34	11.66	2005	91.58	361	72.97	116.77	73.48
1989	50.71	108	54.89	15.79	11.62	2006	99.59	483	72.97	139.58	85.54
1990	52.98	151	56.1	22.3	12.96	2007	107.63	531	70.59	170.06	107.27
1991	54.27	150	57.19	21.05	13.59	2008	106.27	648	71.13	201.96	132.03
1992	56.68	158	58.25	22.87	14.72	2009	106.14	730	73.23	140.93	102.14
1993	60.26	179	59.32	29.43	15.35	2010	109.27	615	74.47	185.54	113.88
1994	59.12	132	60.42	23.27	18.11	2011	114.48	731	74.72	240.84	134.91
1995	63.68	170	61.53	35.71	21.64						

MTP: Milyon ton petrol.

Türkiye'nin 1979-2005 yılları arasında talep edilen enerji miktarının tahmini için önerilen TSA tabanlı model ile GSA, IWO, DE, HAPE, ACO, PSO ve VS algoritmalarının elde ettiği hata miktarı ile $w_1 - w_5$ aralığındaki ağırlıklar Çizelge 2'de verilmiştir. GSA ve IWO algoritmalarının sonuçları doğrudan Koç ve ark. [13] yapmış oldukları çalışmadan, DE algoritmasının sonuçları doğrudan Beşkirli ve ark. yapmış oldukları çalışmadan [19], HAPE algoritmasına ait sonuçlar doğrudan Kiran ve ark. önermiş oldukları çalışmadan [23], ACO algoritmasının sonuçları doğrudan Toksarı'nın yapmış olduğu çalışmadan [26], PSO algoritmasının sonuçları doğrudan Ünler'in yapmış olduğu çalışmadan [29] ve son olarak VS algoritmasına ait sonuçlar da doğrudan Özkış'ın yapmış olduğu çalışmadan [25] alınmıştır.

Çizelge 2. 1979-2005 arasındaki yıllar için algoritmaların elde ettiği hata değerleri ve ağırlık katsayıları

Katsayılar	TSA	VS	IWO	GSA	DE	HAPE	ACO	PSO
w_1	-59,4149	-59.9676	-57.7420	-53.9784	-55.8991	-55.9091	-51.3046	-55.9022
w_2	-0,0074	-0.0070	0.0037	-0.0093	0.0038	0.0038	0.0124	0.0021
w_3	1,9918	2.0019	1.9468	1.8781	1.9123	1.9126	1.8102	1.9126
w_4	0,4010	0.4051	0.3430	0.4253	0.3735	0.3734	0.3524	0.3431
w_5	-0,5082	-0.5197	-0.4562	-0.4738	-0.4835	-0.4833	-0.4439	-0.4240
Hata $f(x)$	36,1146	36.1658	39.1535	43.6001	41.7120	41.7029	45.7239	42.6139

Çizelge 2'de verilen deneysel sonuçlar incelendiğinde önerilen modelin elde ettiği toplam hata miktarı, karşılaştırılan diğer modellerin elde ettiği toplam hata miktarlarına göre daha düşüktür. Bundan dolayı da karşılaştırılan algoritmalara kıyasla daha iyi ağırlık değerlerine ulaşmıştır. Çizelge 2'ye göre

TSA'nın bulunduğu ağırlık değerlerine göre toplam hata miktarı 36.1146'dır ve bu toplam hata miktarı, diğer algoritmaları ile karşılaştırıldığında, elde edilen en düşük hata miktarıdır. TSA'nın diğer algoritmalara kıyasla daha düşük bir toplam hata elde etmesinin en önemli sebebi, konum güncelleme aşamasında, tulumluların yeni konumu oluştururken en iyi besin kaynağına sahip olan tulumlunun da konum güncelleme mekanizmasında kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Çizelge 3'te ise hem önerilen TSA algoritmasına dayalı model hem de VS, IWO, GSA ve DE algoritmalarına dayalı modellerin Çizelge 2'de verilen ağırlık katsayılarına göre 1996-2005 arasındaki yıllar için elde ettiği tahmini enerji miktarları, gerçek enerji talebi ile tahmini enerji miktarı arasındaki hata miktarı ve bağlı hata yüzdeleri verilmiştir.

Çizelge 3. 1996-2005 arasındaki yıllar için algoritmaların elde ettiği tahmini enerji değerleri, hata değerleri ve bağlı hata yüzdeleri

Yıl	Gözlenen Enerji Talebi	TSA			VS			IWO			GSA			DE		
		T	H	BH	T	H	BH	T	H	BH	T	H	BH	T	H	BH
1996	69.86	69.75	-0.11	-0.16	69.82	-0.04	-0.06	69.32	-0.54	-0.77	69.56	-0.30	-0.43	69.71	-0.15	-0.21
1997	73.78	72.41	-1.37	-1.86	72.48	-1.30	-1.76	71.90	-1.88	-2.55	72.30	-1.48	-2.00	72.32	-1.46	-1.99
1998	74.71	73.23	-1.48	-1.98	73.30	-1.41	-1.89	73.02	-1.69	-2.26	72.92	-1.79	-2.40	73.30	-1.41	-1.89
1999	76.77	74.31	-2.46	-3.20	74.37	-2.40	-3.12	74.10	-2.67	-3.48	73.74	-3.03	-3.95	74.18	-2.59	-3.37
2000	80.50	81.13	0.63	0.78	81.25	0.75	0.93	80.28	-0.22	-0.28	80.79	0.29	0.37	80.71	0.21	0.27
2001	75.40	76.37	0.97	1.29	76.37	0.97	1.29	75.81	0.41	0.55	75.83	0.43	0.57	75.71	0.31	0.42
2002	78.33	79.63	1.30	1.66	79.65	1.32	1.68	79.08	0.75	0.96	79.32	0.99	1.27	79.13	0.80	1.02
2003	83.84	82.50	-1.34	-1.60	82.50	-1.34	-1.60	82.1	-1.74	-2.07	82.79	-1.05	-1.25	82.37	-1.47	-1.76
2004	87.82	87.10	-0.72	-0.82	87.07	-0.75	-0.85	86.53	-1.29	-1.47	88.41	0.59	0.68	87.19	-0.63	-0.72
2005	91.58	92.74	1.16	1.27	92.72	1.14	1.24	92.19	0.61	0.67	94.55	2.97	3.24	93.10	1.52	1.66

T: Tahmin H: Hata BH: Bağlı Hata (%)

Çizelge 3 incelendiğinde, TSA algoritması genellikle gözlenen enerji talebine yakın tahminlerde bulunmuştur. Ayrıca algoritmaların 1996-2005 yılları için tahmini enerji talebi ile gözlenen enerji talebi arasındaki hata farkı ve bağlı hata yüzdeleri de Çizelge 3'de verilmiştir. Genellikle algoritmalar 1999 yılı enerji tahminini gerçekleştirirken en yüksek bağlı hata değerleri ile tahmin yapmışlardır. Çizelge 4'te ise algoritmaların 1996 ile 2005 arasındaki yıllar için elde ettikleri toplam hata miktarı ile toplam bağlı hata yüzdeleri verilmiştir. Toplam hata ve toplam bağlı hata yüzdeleri hesaplanırken, algoritmaların buldukları sonuçların mutlak değerce toplamı alınmıştır.

Çizelge 4. 1996-2005 için algoritmaların elde ettiği toplam hata değerleri ve toplam bağlı hata yüzdeleri

Yöntem	Toplam Hata	Toplam BH (%)
TSA	11.54	14.62
VS	11.42	14.42
IWO	11.80	15.06
GSA	12.92	16.16
DE	10.55	13.31

Çizelge 4 incelendiğinde 1996 ile 2005 yılları arasında elde edilen tahmini enerji talepleri değerlendirildiğinde, en iyi toplam hata ve toplam bağıl hata değerlerine sırasıyla DE, VS ve TSA algoritmaları ulaşmıştır. En kötü toplam hata ve toplam bağıl hata değerlerine ise IWO ve GSA algoritmaları ulaşmıştır.

4.1. Türkiye'nin 2012-2030 yılları için geleceğe yönelik enerji talebinin TSA algoritması ile tahmin edilmesi

DE, VS, IWO ve GSA algoritmaları Türkiye'nin 1979 ile 2011 yılları arasındaki veri setini kullanarak, geleceğe yönelik enerji talebini tahmin etmişlerdir. Algoritmaların geleceğe yönelik yaptığı tahminler ile adil bir karşılaştırma yapmak amacıyla, önerilen TSA tabanlı model öncelikle 1979-2011 arasındaki veriler üzerine uygulanmış ve önerilen model için $w_1 - w_5$ arasındaki ağırlık katsayıları belirlenmiştir. Daha sonra ise Koç ve ark. [13] çalışmalarında önermiş oldukları üç farklı gelecek senaryosu için 2012 ile 2030 arasındaki yıllar için geleceğe yönelik enerji talep tahmini yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar DE, VS, IWO ve GSA algoritmalarının sonuçları ile kıyaslanmıştır. Çizelge 5'te ise 1979 ile 2011 arasındaki yıllar ait veri seti için algoritmaların bulduğu ağırlık katsayı değerleri ve hata miktarları verilmiştir.

Çizelge 5. 1979-2011 arasındaki yıllar için algoritmaların elde ettiği hata değerleri ve ağırlık katsayıları

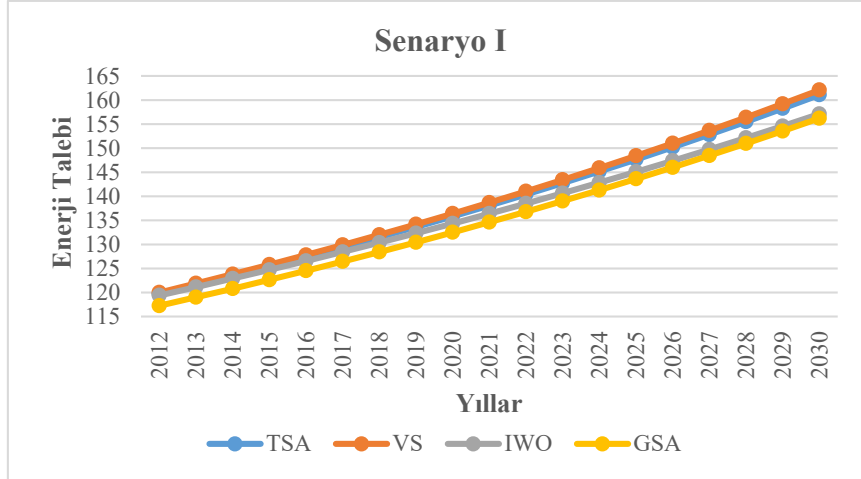
Katsayılar	TSA	VS	IWO	GSA	DE
w_1	-50.29152	-43.35375	-28.14013	-57.15262	-50.13452
w_2	0.02513	0.02153	0.00582	0.02461	0.02389
w_3	1.76045	1.63557	1.37398	1.89247	1.75763
w_4	0.10638	0.09159	0.13009	0.08863	0.09997
w_5	-0.05457	0.01120	0.05630	0.05971	-0.03635
Hata $f(x)$	152.88368	169.05149	367.45717	180.36962	152.57090

Çizelge 5'de verilen deneysel sonuçlar incelendiğinde önerilen modelin elde ettiği toplam hata miktarı, DE algoritması hariç karşılaştırılan diğer modellerin elde ettiği toplam hata miktarlarına göre daha düşüktür. TSA ve DE algoritmaları ise birbirine benzer hata miktarları ile $w_1 - w_5$ ağırlık katsayı değerlerini tahmin etmişlerdir. Çizelge 5'de verilen ağırlık katsayı değerleri kullanılarak Çizelge 6'da verilmiş olan nüfus, ithalat, GSYİH ve ihracat verileri için üç farklı senaryo üzerinden geleceğe yönelik enerji talep tahmini yapılmıştır.

Çizelge 6. 2012-2030 arasındaki yıllar için olası senaryolar

Veriler	Senaryo I	Senaryo II	Senaryo III
GSYİH ortalama büyüme oranı (%)	4.0	5.0	6.0
Nüfusun büyüme oranı (%)	0.5	0.6	0.6
İthalatın büyüme oranı (%)	2.5	3.5	3.0
İhracatın büyüme oranı (%)	3	3.5	3.0

Senaryo I için TSA'nın elde ettiği deneysel sonuçlar GSA, VS ve IWO algoritmalarının elde ettiği deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır ve algoritmaların elde ettiği sonuçlar Çizelge 7'de verilmiştir.



Şekil 3. Senaryo I için algoritmaların 2012-2030 aralığındaki yıllar için tahmini enerji talepleri

Çizelge 7. Senaryo I için algoritmaların enerji tahminleri

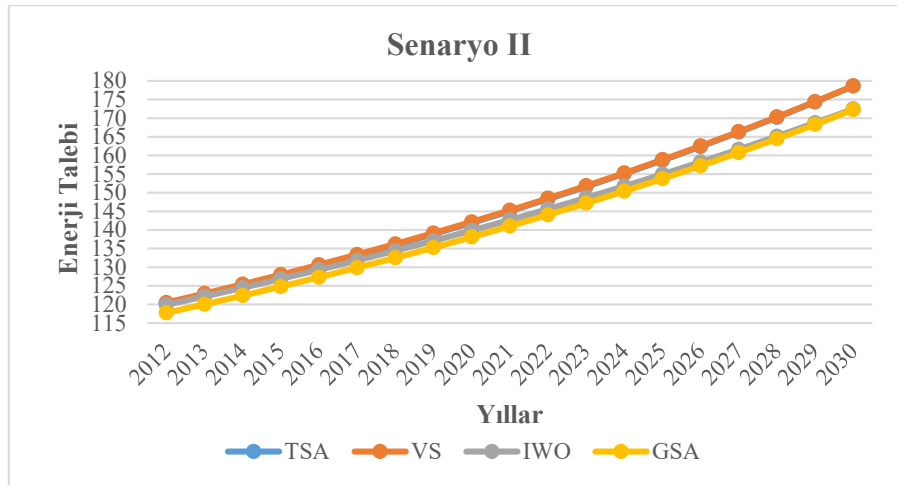
Yıl	Gözlenen Enerji Talebi	TSA	VS	IWO	GSA
2012	120.09	119.69	120.00	119.40	117.25
2013	120.29	121.55	121.88	121.13	119.01
2014	123.94	123.44	123.81	122.90	120.80
2015	129.27	125.39	125.78	124.70	122.64
2016	N/A	127.38	127.80	126.55	124.52
2017	N/A	129.41	129.87	128.43	126.45
2018	N/A	131.50	131.99	130.36	128.41
2019	N/A	133.64	134.16	132.32	130.43
2020	N/A	135.83	136.39	134.33	132.50
2021	N/A	138.07	138.67	136.39	134.61
2022	N/A	140.38	141.01	138.49	136.78
2023	N/A	142.74	143.41	140.64	139.00
2024	N/A	145.16	145.88	142.83	141.27
2025	N/A	147.64	148.40	145.08	143.61
2026	N/A	150.19	151.00	147.37	146.00
2027	N/A	152.81	153.66	149.72	148.45
2028	N/A	155.49	156.39	152.13	150.97
2029	N/A	158.25	159.20	154.58	153.55
2030	N/A	161.08	162.08	157.10	156.21

Çizelge 7 incelendiğinde 2012 ile 2030 arasındaki yıllar için en yüksek tahminler önerilen TSA tabanlı model ve VS algoritmaları tarafından elde edilmiştir. Senaryo I için algoritmaların 2012-2030 arasındaki yıllar için elde ettiği tahmini enerji taleplerine ait grafik Şekil 3'te verilmiştir.

Çizelge 8. Senaryo II için algoritmaların enerji tahminleri

Yıl	Gözlenen Enerji Talebi	TSA	VS	IWO	GSA
2012	120.09	120.23	120.51	119.90	117.74
2013	120.29	122.65	122.93	122.15	120.02
2014	123.94	125.14	125.42	124.47	122.37
2015	129.27	127.72	127.99	126.85	124.79
2016	N/A	130.38	130.65	129.30	127.29
2017	N/A	133.12	133.39	131.83	129.86
2018	N/A	135.96	136.22	134.43	132.52
2019	N/A	138.88	139.14	137.10	135.26
2020	N/A	141.91	142.16	139.86	138.09
2021	N/A	145.04	145.28	142.69	141.02
2022	N/A	148.28	148.50	145.62	144.04
2023	N/A	151.62	151.83	148.63	147.16
2024	N/A	155.09	155.28	151.73	150.39
2025	N/A	158.67	158.85	154.93	153.73
2026	N/A	162.38	162.54	158.22	157.19
2027	N/A	166.23	166.36	161.62	160.77
2028	N/A	170.21	170.31	165.13	164.47
2029	N/A	174.33	174.41	168.74	168.31
2030	N/A	178.61	178.65	172.47	172.28

Çizelge 8’de Senaryo II için hem önerilen TSA modelin elde ettiği deneysel sonuçlar, hem de GSA, VS ve IWO algoritmalarının elde ettiği deneysel sonuçlar verilmiştir. Çizelge 8 incelendiğinde, Senaryo II için en yüksek tahminler önerilen TSA tabanlı model ve VS algoritmaları tarafından elde edilmiştir. Senaryo II için algoritmaların 2012-2030 aralığındaki yıllar için elde ettiği tahmini enerji taleplerine ait grafik Şekil 4’te verilmiştir. Şekil 4’de verilen sonuçlar incelendiğinde, geleceğe yönelik enerji talebi için en yüksek değerler TSA ve VS algoritmaları tarafından elde edilmiştir.

**Şekil 4.** Senaryo II için algoritmaların 2012-2030 aralığındaki yıllar için tahmini enerji talepleri

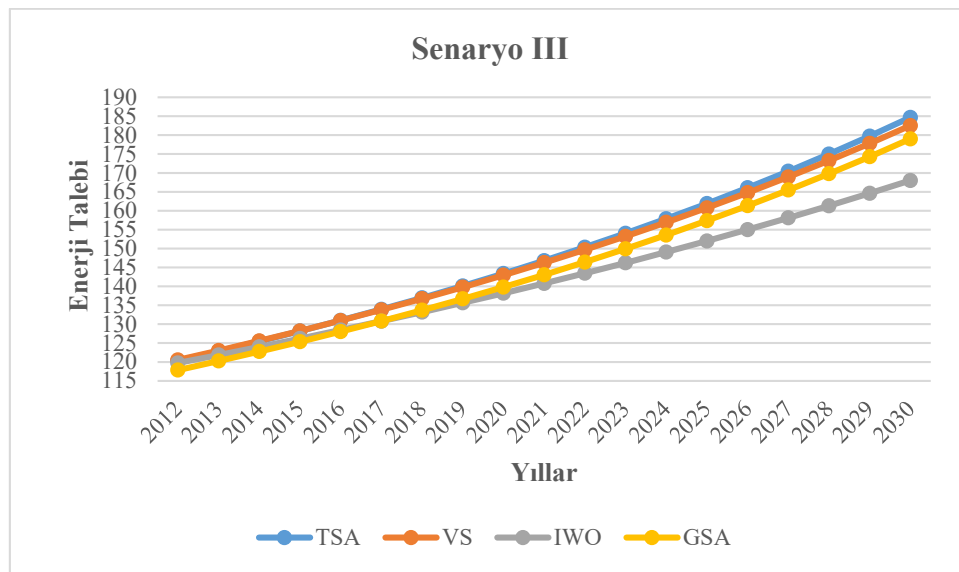
Son olarak, Senaryo III durumunda algoritmaların geleceğe dönük tahmini enerji talebi için elde ettikleri sonuçlar Çizelge 9’da verilmiştir. Çizelge 9 incelendiğinde, 2012 ile 2030 aralığındaki yıllar

için en yüksek enerji talep tahminleri önerilen TSA modeli ile elde edilmiştir. İkinci en iyi enerji tahminleri ise VS algoritması tarafından elde edilmiştir.

Çizelge 9. Senaryo III için algoritmaların enerji tahminleri

Yıl	Gözlenen Enerji Talebi	TSA	VS	IWO	GSA
2012	120.09	120.32	120.55	119.75	117.86
2013	120.29	122.85	123.02	121.84	120.27
2014	123.94	125.46	125.57	123.99	122.76
2015	129.27	128.18	128.21	126.19	125.35
2016	N/A	131.00	130.95	128.46	128.03
2017	N/A	133.92	133.79	130.79	130.81
2018	N/A	136.95	136.74	133.19	133.69
2019	N/A	140.11	139.79	135.65	136.69
2020	N/A	143.39	142.96	138.18	139.81
2021	N/A	146.80	146.25	140.79	143.05
2022	N/A	150.35	149.67	143.47	146.42
2023	N/A	154.04	153.23	146.23	149.92
2024	N/A	157.89	156.92	149.07	153.57
2025	N/A	161.89	160.77	151.99	157.38
2026	N/A	166.07	164.77	155.01	161.34
2027	N/A	170.43	168.94	158.11	165.48
2028	N/A	174.98	173.28	161.31	169.80
2029	N/A	179.73	177.80	164.61	174.30
2030	N/A	184.68	182.52	168.01	179.00

Geleceğe dönük enerji talep tahmini için Senaryo III'ün seçilmesi durumunda, algoritmaların yıllara göre tahmini enerji talepleri Şekil 5'te gösterilmiştir. Şekil 5 incelendiğinde 2012-2020 aralığındaki yıllar için TSA ve VS algoritmaları benzer tahminler elde etmiştir. Ancak 2021-2030 aralığındaki yıllar baz alındığından önerilen modelin elde ettiği enerji talep tahminleri, diğer algoritmalara kıyasla daha yüksektir.



Şekil 5. Senaryo III için algoritmaların 2012-2030 aralığındaki yıllar için tahmini enerji talepleri

5. Sonuç ve Tartışmalar

Tulumlular sürü algoritması (TSA), sürekli optimizasyon problemlerinin çözümü için yakın zamanda literatüre kazandırılmış olan popülasyon tabanlı metasezgisel bir optimizasyon algoritmasıdır. TSA algoritmasının en önemli özelliklerinden bir tanesi, herhangi bir tulumlu için yeni konum oluşturulurken en iyi besin değerine sahip olan tulumlunun da konum güncelleme aşamasında kullanılmasıdır. TSA'nın bir diğer önemli özelliği ise arama uzayındaki tulumlular (arama ajanları) arasında meydana gelen sosyal etkileşimdir. Tulumlular arasında meydana gelen bu sosyal etkileşim sayesinde, herhangi bir arama ajanının en iyi tulumlunun konumuna doğru hareket etmesi sağlanmaktadır. TSA'nın bu iki önemli özelliği başarılı sonuçların elde edilmesini sağlamaktadır. Bununla birlikte, geleceğe dönük enerji tahmini, ülkelerin gelecekteki enerji ihtiyacının önceden öngörülebilmesi ve ülkelerin geleceğe dönük planlı adımlar atması açısından oldukça önemlidir. Bu kapsamda yapılan bu çalışmada TSA algoritması tabanlı bir doğrusal model geliştirilmiştir. Geliştirilen bu modelde eğitim ve test aşamasında Türkiye'nin 1979-2011 aralığındaki GSYİH, nüfus, ihracat ve ithalat verileri kullanılmıştır. Daha sonra ise 2012-2030 aralığındaki yıllar için, olası üç farklı senaryo üzerinden Türkiye'nin muhtemel enerji ihtiyacı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Üç farklı senaryo için elde edilen deneysel sonuçlar, aynı senaryoları kullanarak enerji talep tahminini yapmış olan VS, GSA ve IWO algoritmalarının sonuçları ile kıyaslanmıştır. Deneysel sonuçlar ve karşılaştırmalar incelendiğinde, bu çalışma kapsamında önerilen TSA tabanlı doğrusal modelin, Türkiye'nin geleceğe dönük enerji talebini tahmin etmek için rekabetçi ve başarılı sonuçlar elde ettiği söylenebilir. Daha sonraki çalışmalarda Türkiye'nin geleceğe yönelik enerji ihtiyacı için daha başarılı sonuçlar verebilecek farklı model ve algoritmalar geliştirilebilir.

Kaynaklar

- [1] Bilgen S, Kaygusuz K, Sari A. Renewable energy for a clean and sustainable future. *Energy sources*, 26, 12 (2004), 1119-1129.
- [2] Priddle R. World energy outlook 2002. International Energy Agency, IEA/OECD, Paris (2002).
- [3] Ediger VŞ, Tatlıdil H. Forecasting the primary energy demand in Turkey and analysis of cyclic patterns. *Energy Conversion and Management*, 43, 4 (2002), 473-487.
- [4] Häfele W. A Systems Approach to Energy: Handling large amounts of energy in a way that is safe, clean, cheap, and efficient is a more serious long-range problem than producing an adequate fuel supply. *American Scientist*, 62, 4 (1974), 438-447.
- [5] Azadeh A, Saberi M, Ghaderi S, Gitiforouz A, Ebrahimipour V. Improved estimation of electricity demand function by integration of fuzzy system and data mining approach. *Energy Conversion and Management*, 49, 8 (2008), 2165-2177.
- [6] Koc I, Kivrak H, Babaoglu I. The estimation of the energy demand in Turkey using grey wolf optimizer algorithm. *Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara*, 17, 1 (2019), 113-117.
- [7] Canyurt OE, Öztürk HK. Three different applications of genetic algorithm (GA) search techniques on oil demand estimation. *Energy conversion and management*, 47, 18-19 (2006), 3138-3148.
- [8] Sonmez M, Akgüngör AP, Bektaş S. Estimating transportation energy demand in Turkey using the artificial bee colony algorithm. *Energy*, 122 (2017), 301-310.
- [9] Pérez-Lombard L, Ortiz J, Pout C. A review on buildings energy consumption information. *Energy and buildings*, 40, 3 (2008), 394-398.
- [10] Biçer A. Enerji Talep Tahminine Yönelik Program Geliştirme ve Bir Bölge için Uygulaması. Yüksek Lisans, 2018.
- [11] Sadri A, Ardehali M, Amirnekoeei K. General procedure for long-term energy-environmental planning for transportation sector of developing countries with limited data based on LEAP (long-range energy alternative planning) and EnergyPLAN. *Energy*, 77 (2014), 831-843.
- [12] Erdogdu E. Electricity demand analysis using cointegration and ARIMA modelling: A case study of Turkey. *Energy policy*, 35, 2 (2007), 1129-1146.

- [13] Koç İ, Nureddin R, Kahramanlı H. Türkiye'de enerji talebini tahmin etmek için doğrusal form kullanarak GSA (Yerçekimi Arama Algoritması) ve IWO (Yabancı Ot Optimizasyon Algoritması) tekniklerinin uygulanması (2018).
- [14] Dilaver Z, Hunt LC. Industrial electricity demand for Turkey: a structural time series analysis. *Energy Economics*, 33, 3 (2011), 426-436.
- [15] Ediger VŞ, Akar S. ARIMA forecasting of primary energy demand by fuel in Turkey. *Energy policy*, 35, 3 (2007), 1701-1708
- [16] Kankal M, Akpınar A, Kömürcü Mİ, Özşahin TŞ. Modeling and forecasting of Turkey's energy consumption using socio-economic and demographic variables. *Applied Energy*, 88, 5 (2011), 1927-1939.
- [17] Yumurtacı Z, Asmaz E. Electric energy demand of Turkey for the year 2050. *Energy Sources*, 26, 12 (2004), 1157-1164.
- [18] ES H, KALENDER ÖKSÜZ F, Hamzacebi C. Forecasting the net energy demand of Turkey by artificial neural networks (2014).
- [19] Beskirli M, Hakli H, Kodaz H. The energy demand estimation for Turkey using differential evolution algorithm. *Sādhanā*, 42, 10 (2017), 1705-1715.
- [20] Ceylan H, Ozturk HK. Estimating energy demand of Turkey based on economic indicators using genetic algorithm approach. *Energy Conversion and Management*, 45, 15-16 (2004), 2525-2537.
- [21] Gulcu S, Kodaz H. The estimation of the electricity energy demand using particle swarm optimization algorithm: A case study of Turkey. *Procedia computer science*, 111 (2017), 64-70.
- [22] Kıran MS, Gündüz M. A recombination-based hybridization of particle swarm optimization and artificial bee colony algorithm for continuous optimization problems. *Applied Soft Computing*, 13, 4 (2013), 2188-2203.
- [23] Kıran MS, Özceylan E, Gündüz M, Paksoy T. A novel hybrid approach based on particle swarm optimization and ant colony algorithm to forecast energy demand of Turkey. *Energy conversion and management*, 53, 1 (2012), 75-83.
- [24] Kıran MS, Özceylan E, Gündüz M, Paksoy T. Swarm intelligence approaches to estimate electricity energy demand in Turkey. *Knowledge-Based Systems*, 36 (2012), 93-103.
- [25] Özkış A. A new model based on vortex search algorithm for estimating energy demand of Turkey. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 26, 5 (959-965).
- [26] Toksarı MD. Ant colony optimization approach to estimate energy demand of Turkey. *Energy Policy*, 35, 8 (2007), 3984-3990.
- [27] Toksarı MD. Estimating the net electricity energy generation and demand using the ant colony optimization approach: case of Turkey. *Energy Policy*, 37, 3 (2009), 1181-1187.
- [28] Uguz H, Hakli H, Baykan ÖK. A new algorithm based on artificial bee colony algorithm for energy demand forecasting in Turkey. *IEEE, City*, 2015.
- [29] Ünler A. Improvement of energy demand forecasts using swarm intelligence: The case of Turkey with projections to 2025. *Energy policy*, 36, 6 (2008), 1937-1944.
- [30] Kaur S, Awasthi LK, Sangal A, Dhiman G. Tunicate swarm algorithm: a new bio-inspired based metaheuristic paradigm for global optimization. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 90 (2020), 103541.
- [31] Bulut YM, Yıldız Z. Comparing energy demand estimation using various statistical methods: the case of Turkey. *Gazi University Journal of Science*, 29, 2 (2016), 237-244.
- [32] National Statistics <http://www.tuik.gov.tr>. City, 2016.
- [33] Berrill J. *The Tunicafa*. The Royal Society: London (1950).
- [34] Fetouh T, Elsayed AM. Optimal control and operation of fully automated distribution networks using improved tunicate swarm intelligent algorithm. *IEEE Access*, 8 (2020), 129689-129708.
- [35] Chander S, Vijaya P. Tunicate Swarm-Based Black Hole Entropic Fuzzy Clustering for Data Clustering using COVID Data. *IEEE, City*, 2020.

DERİN SAHTE VİDEOLARIN TESPİTİ VE UYGULAMALARI İÇİN BİR KARŞILAŞTIRMA ÇALIŞMASI

İsmail İLHAN^{1*}, Mehmet KARAKÖSE²

¹Adıyaman Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Adıyaman, 02040, Türkiye

²Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Elazığ, 23000, Türkiye

Geliş tarihi: 29.03.2021 Kabul tarihi: 21.06.2021

ÖZET

Yapay zekânın birçok alanda kullanılması teknolojinin daha da ilerlemesini sağlamıştır. Bu alanlardan biri de derin sahte videoların oluşturulmasıdır. Derin sahte videolar için gerekli modeller yapay zekâ ile oluşturulmaktadır. Sosyal medyanın etkin bir şekilde kullanılması manipüle edilmiş videolara olan ilgiyi arttırmıştır. Derin sahte tespiti hala tam olarak çözülemeyen bir problem olduğu için Google, Youtube, Facebook, Microsoft, AWS ve AI gibi sosyal medya ve teknoloji geliştiricileri, araştırmalara destek sağlamakta ve Kaggle ve Github gibi platformlarda önerilen çözümler açık kaynak olarak sunulmuştur. Derin sahte videoların oluşturulmasında ve tespit edilemesinde kullanılan yöntemler ve mimariler benzerdir. Ayrıca bu ikili mücadelede yeni önerilen yöntemleri kendilerini iyileştirmek için kullanılmaktadırlar. Bu da her zaman için yeni bir tespit yöntemine ihtiyaç oluşturacaktır. Bu çalışmada derin sahte videoların tespit edilmesinde kullanılan yöntemler incelenmiştir. Uygulamaların performans etki analizleri yapılmıştır. Farklı özellikteki veri setleri, farklı yöntemlere sahip tespit uygulamaları ve özellikleri tablolar halinde verilmiştir. Uygulamalar karşılaştırılarak, zorlukları ve eğilimleri değerlendirilerek araştırmacılara kaynak olarak sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: *Derin Sahte, Manipülasyon, Sahte Video Tespiti, Yüz Değiştirme, Yüz Canlandırma*

A COMPARISON STUDY FOR THE DETECTION AND APPLICATIONS OF DEEPPAKE VIDEOS

ABSTRACT

The use of artificial intelligence in many areas has led to further advancement of technology. One of these areas is the creation of deep fake videos. The necessary models for deep fake videos are created with artificial intelligence. The effective use of social media has increased the interest in manipulated videos. As deepfake video detection is still an unresolved problem, social media such as Google, Youtube, Facebook, Microsoft, AWS and AI and technology developers provide support for research and proposed solutions are open sourced on platforms such as Kaggle and Github. The methods and architectures used to create and detect deep fake videos are similar. In addition, they use the newly proposed methods in this dual struggle to improve themselves. This will always create a need for a new detection method. In this study, the methods used to detect deep fake videos were examined. Performance impact analyzes of the applications were made. Data sets with different properties, detection applications with different methods and their properties are given in tables. The applications were compared, and their difficulties and tendencies were evaluated and presented to researchers as a resource.

Keywords: *Deepfake, manipulation, deepfake video detection, faceswap, face reenactment*

* e-posta1: iilhan@adiyaman.edu.tr ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-5972-4295> (Sorumlu Yazar)

e-posta2: mkarakose@firat.edu.tr ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-3276-3788>

1. Giriş

Özellikle görüntü işleme ve yapay zekâ algoritmalarının son zamanlarında ilerlemesiyle, sahte medya üretimi daha kolay hale gelmiştir [1]. Deepfakes ve FaceSwap gibi derin öğrenme tekniklerini kullanan uygulamalarda, videodaki kişinin yüzünü/sesini değiştirerek sahte videolar oluşturulmuştur. Deepfake (Derin Sahte) olarak da bilinen bu yapay zekâ ile sentezlenmiş yüz değiştirme videoları, çevrimiçi bilgilerin gerçekliği ve güvenilirliği için büyük bir tehdit oluşturabilir ve dahası kötü amaçlar için kullanılabilir [2]. Bu gerçekçi sahte videoların tespiti için geleneksel adli tıp teknikleri yetersiz ve güçsüz kalmaktadır. Derin sahte uygulamalarıyla oluşturulan sahte haberlerin yayılması, Google, Facebook ve Microsoft gibi küresel teknoloji liderleri grubunu bu sorunu çözmeleri için bir araya getirdi. AI's Media Integrity Steering Committee, Oxford, Berkeley ve MIT dahil olmak üzere çeşitli üniversiteler ile sahte yapay zekâ videolarını tespit etme konusunda büyük bir yarışma düzenlenmiştir. Deepfake Detection Challenge olarak adlandırılan bu yarışma ve etkinlik Kaggle platformunda yer alır [3]. Derin sahte yöntemlerinin platformlarda paylaşılması ayrıca uygulamalarının çevrim içi olarak kullanılması kullanıcılar için erişilebilir ve kullanışlı olmasını sağlamıştır.

Mırsky ve ark. derin sahtelerin oluşturulmasını ve tespit edilmesini araştırmış ve mimarilerini ayrıntılı olarak sunmuşlardır. Derin sahte oluşturma yöntemlerini sınıflandırarak blok şemalarını göstermiş ve kısaca açıklamışlardır. Uygulanan oluşturma yöntemlerin karşılaştırmalarını tablolar halinde göstermişlerdir. Ayrıca tespit yöntemlerinden birkaçını tablo ile açıklamışlardır [3]. Nguyen ve ark. derin yüzeylerin algılanması ve derin sahtelerin tespit edilmesini incelemişlerdir. Derin sahte algoritmaların prensiplerini ve derin öğrenmenin nasıl kullanıldığını açıklamışlardır. Sahte resim tespit çalışmalarını kısaca anlatmış, sahte video tespiti için güncel yöntemlerde kullanılan sınıflandırmaları incelemişlerdir [4]. Rossler ve ark. FaceForensics ++ veri kümesi ile Deep-Fakes, Face2Face, FaceSwap ve NeuralTextures uygulamalarını ele alarak otomatik tespit yöntemlerini incelemiş ve sıkıştırılmış video dosyalarındaki performanslarını karşılaştırmışlardır. Geniş bir veri seti kullanarak kapsamlı bir analiz yapmışlardır [5]. Albahar ve ark. derin sahte tekniği, kökeni ve tarihsel bağlamı hakkında bilgi vermişlerdir. Ayrıca derin sahte videoların veya fotoğrafların nasıl oluşturulduğu ve değiştirilen fotoğraf ve videoların özellikleri göstermişlerdir ve yöntemlerin sistematik bir incelemesini sunmuşlardır [6]. Tolosana ve ark. yüz manipülasyon tekniklerini ve derin sahte yöntemleri kapsamlı bir incelemesini vermişlerdir. Öznitelik manipülasyonu, yüz sentezi, kimlik değişimi, ifade değişimi olan dört farklı yüz manipülasyon tekniğini ele alarak kullanılan veri tabanları ve uygulanan yöntemlerin doğruluk performanslarını değerlendirmişlerdir. Araştırılması gereken konuları ve eğilimleri sunmuşlardır [7]. Verdoliva son yıllarda önerilen en etkili manipülasyon yöntemlerinin kısa bir analizi ile geleneksel yaklaşımlar ve derin öğrenme yaklaşımları ile yüz manipülasyonlarının tespitini açıklamıştır. Konvansiyonel tespit yöntemlerini yani multimedya adli tıp alanındaki ana araştırma hatlarını kısaca açıklamışlardır [8]. Samuele ve ark. DFDC veri setini kullanarak SHAP, GradCAM, LTPA ve Bonettini tekniklerini incelemişler ve karşılaştırmak için dört farklı iç ölçüm (varyans, çerçeve içi tutarlılık, çerçeveler arası tutarlılık ve merkezlilik) tanımlamışlar ve deneysel olarak karşılaştırmışlardır [9].

Bu çalışmada derin sahte videoların tespitinde kullanılan yöntemler sınıflandırılarak 3. Bölümde uygulamadaki performansı etkileyen unsurlar başlıklar şeklinde açıklanmıştır. Bölüm 4'de ise derin sahte video tespit yöntemlerinin şekilleri verilerek açıklanmıştır ve yöntemlerin özellikleri ve doğruluk performansı Tablo 2'de verilmiştir. Tespit uygulamalarının zorlukları genel olarak verildikten sonra son bölümde genel bir değerlendirme yapılmıştır.

2. Derin Sahte Videoların Tespitinde Kullanılan Yöntemler

Geçtiğimiz birkaç ay içinde, derin sahte teknolojisinde çok daha yüksek bir gerçeklik seviyesi sunabilen veya neredeyse gerçek zamanlı olarak çalışabilen yeni algoritmalar görülmektedir. Derin

sahte videolarının en son biçimi, basit yüz değiştirmenin ötesine, tüm kafa sentezine (kafa kuklası), ortak görsel-ışitsel sentezine (konuşan kafalar) ve hatta tüm vücut sentezine kadar gitmektedir [3, 4].

Derin sahte ilk anda fark etmesi çok zor olmasa da uzmanlar tarafından sahteliği tespit edilebilen bir teknoloji. Yinede, kendini geliştirmeye devam eden teknolojinin ileride sahte olduğu anlaşılacak kadar gerçek olmasından korkulmaktadır. Yapay zekânın kullanılmadığı sahte video tespit yöntemlerinde video özelliklerinin istatistiksel korelasyonu, istatistiksel anormalliklerin analizi ve cihaz tutarsızlıkları bilgileri kullanılmaktadır [3]. Yapay zekânın daha etkin kullanımı ile hem derin sahte üretmek hem de derin sahte tespit etmek daha başarılı ve daha kolay olmaktadır.

Tespit yöntemlerinde, temeli piksel seviyesine dayanan yöntemleri geliştiren araştırmacılar; artefaktlara, parmak izlerine, renk tutarsızlıklarına, doku bozulmalarına ve optik akış analizine ve hatta kameranın fiziksel özelliklerine özel önem verdiler. Biyolojik yöntemleri kullananlar, insan özelliklerini veya canlılık özelliklerini analiz eden görüntünün fiziksel / fizyolojik yönlerine dikkat etmektedir. Araştırmacılar, derin sahte videolarda baş pozlarında tutarsızlıklar olduğunu [10], doğal olmayan göz kırpmalarının [11], biyolojik sinyallerin korunmadığını ve bazı yüz çarpıklıklarının fark edilebildiğini keşfetmişlerdir [12]. Manipüle edilmiş görüntüleri eşzamanlı olarak algılamak ve manipüle edilmiş bölgeleri tahmin etmek için özellik haritaları işlenmiş ve geliştirmek için bir dikkat mekanizması kullanılmıştır. Ayrıca manipüle edilen bölgeler görselleştirilmiştir [13].

Oluşturma yöntemlerinden dolayı derin sahte videolarda, çerçeveler arası tutarsızlıklar ve kareler arasındaki zamansal tutarsızlıklar oluşur. Bu tutarsızlıklar tespit yöntemlerinde kullanılmaktadır. Tespit yöntemlerinde yüz artefaktları incelenebilir [5]. Bunlar; videodaki yüz bölgesinin diğer alandakilere göre daha bulanık olması, parlıyor olması, yüz kenarlarında cilt tonunda değişiklik olması; yüz bölgesinde çift çene, çift kaş, çift kenarın olması; el veya başka şeyler tarafından yüz bölgesi engellendiğinde titreme ve bulanıklaşma olmasıdır. Derin sahte videolarda en çok kullanılan yöntem yüz manipülasyonları yani yüz değiştirme yöntemleridir. Sabit boyutlarda görüntü işlemleri yapmak kaynak ve çeşitlilik için zordur. Bu nedenle görüntülerde yüzün pozlarına ve koordinatlarına uyması için yeniden ölçeklendirme, döndürme ve sentezleme işlemleri yapılmaktadır. Bu tür işlemlerde görüntülerde çözünürlük ve renk tonu gibi bazı çarpıtmalar oluşacaktır. Özellik çıkarım yöntemleri ile bu kusurlara bağlı manipülasyonlar tespit edilebilir.

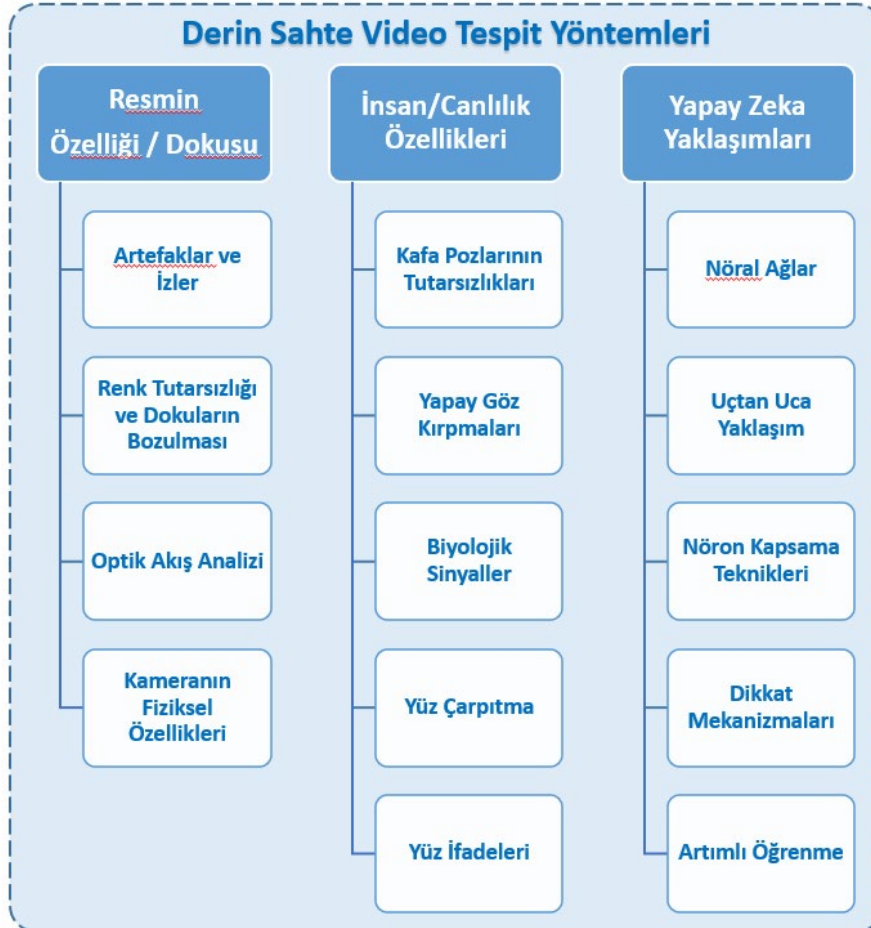
Yapay zekâ yöntemlerinde, el yapımı veya gözlemlenen özellikler hesaba katılmaz [12]. Yapay zekâ yaklaşımlarının çoğunun temelinde uygun bir sinir ağı kullanılır. Evrişimli Sinir Ağlarının bir araya getirilmesi, Evrişimli Sinir Ağlarının ve Tekrarlayan Sinir Ağlarının kombinasyonu, Uzamsal Evrişim Ağları, 3B Evrişimli Sinir Ağları veya MesoNet, kapsül ağları, uçtan uca yaklaşımlar, nöron kapsama teknikleri, dikkat mekanizmaları, artımlı öğrenme veya çok görevli öğrenme geliştirilen yöntemlerdir. Bahsedilen tüm tespit tekniklerinin karşılaştırılması oldukça zordur çünkü bu yöntemlerin yazarları farklı değerlendirme ölçütleri kullanmış ve ayrıca performansları farklı veri setlerinde ölçülmüştür [3, 4, 7].

Derin sahte tespit yöntemleri, sahte video oluşturma yöntemlerine benzemektedir. Çünkü tespit modülü derin sahte oluşturma yönteminin eğitim sürecinin bir parçası olarak kullanılmaktadır. Derin sahte tespit yöntemlerinde de farklı alanlarda birçok yöntemler tasarlanmıştır. Bu yöntemlerin özetleri Şekil 1'de gösterilmiştir.

Otomatik kodlayıcı kare kare kullanıldığından daha önce oluşturulmuş yüzden tamamen habersizdir. Bu da zamansal tutarsızlığı oluşturur. En göze çarpanı kısıtlı veriler ile eğitilen derin sahte oluşturuculardaki yüz bölgesinde oluşan aydınlatma tutarsızlığı nedeniyle titreyen bir fenomen oluşturmaktadır. Bu fenomenler CNN (Evrişimsel Sinir Ağları, Convolutional Neural Network) özellikli derin sahte detektörler ile tespit edilebilir [7, 12, 13].

Derin sahte çıktıları ile objektif yüz pozları arasındaki sistematik farklılıkların, dönüm noktası odakları kullanılarak ayırt edilebildiğini ve vektör makine modellerinin temel yardımı kullanılarak sınıflandırılabilirliğini göstermiştir. Bu yöntemler ile kafa ve yüz pozlarındaki tutarsızlıklar yakalanarak manipülasyonlar tespit edilebilir [10].

İlişkili eylemlere sahip karmaşık videolarda zamansal etkileşimi öğrenmek için başka bir tasarıma ihtiyaç vardır. Dahası, gürültünün solması ve degradeleri nedeniyle uzun video sahnelerinin öğrenilmesinde tekrarlayan ağlar tarafından ciddi zorluklar yaşanmıştır. LSTM (Uzun-Kısa Süreli Bellek, Long Short-Term Memory) olarak bilinen bir tür RNN (Tekrarlayan Sinir Ağları, Recurrent Neural Network), bu sorunu çözmek için olağanüstü bir benzersiz ağıdır [11].



Şekil 1. Derin sahte video tespit yöntemleri [14]

Çok akışlı öğrenme ağlarında akışların dengeli öğrenilmesi için, bir kayıp fonksiyonu kullanarak ve bölgesel yapay nesnelere öğrenerek farklı sıkıştırma yöntemleri uygulanmış videolarda manipülasyon tespitini yüksek performanslarda yapılmıştır [13].

3. Derin Sahte Video Tespiti Uygulamalarında Performans Etki Analizi

Derin sahte video tespit uygulamalarındaki doğruluk, hız, işlem gücü gibi performansa etki eden unsurlar aşağıda açıklanmıştır.

3.1. Eğitim Verisi

Derin sahte uygulamalarında hem oluşturma yöntemlerinde hem de tespit yöntemlerinde veri setlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle derin sinir ağlarının eğitim süreçlerinde mimariye uygun büyük veri setleri kullanılmaktadır. Tablo 1'de gösterildiği gibi veri setlerindeki görüntü sayısı,

görüntülerin süresi, görüntülerdeki çerçeve sayısı, çözünürlüğü, görüntünün dosya formatı yani sıkıştırılma algoritması, uygulamanın eğitim performansında etkili olduğu gibi uygulamanın hız, doğruluk ve üretim kalitesini de doğrudan etkilemektedir. Ayrıca veri setinin tespit yöntemindeki odaklanan algoritmaya uygun olması gerekmektedir. Şekil 1’de gösterilen yöntemlerin odaklandığı algoritmalar ile eğitim sürecinde kullandıkları veri setlerinin oluşturulmasında kullanılan algoritmaların uyumlu olmaları gerekmektedir. Örneğin kafa pozlarının tutarsızlıklarını tespit eden bir uygulamada yapay göz kırpmaları için oluşturulmuş bir veri seti eğitim sürecinde kullanılmamalıdır. Veri setlerinin etkisini uygulamaların doğruluk performanslarında da açıkça görülmektedir. Eğitim setinde kullanılan veri setinin test doğruluk oranı başka bir veri seti ile karşılaştırıldığında farklı olduğu Tablo 2’de görülmektedir.

Tablo 1. Derin sahte tespit yöntemlerinde kullanılan veri setleri ve özellikleri

Veri Seti	Gerçek		Sahte		Tarih	Çözünürlük	Yöntem
	Video	Çerçeve	Video	Çerçeve			
UADFV	49	17,3k	49	17.3k	2018		FakeAPP
DeepFake-TIMIT-LQ (DF-TIMIT)	320	34,0k	320	34.0k	2018	64	faceswap-GAN
DeepFake-TIMIT-HQ	320	34,0k	320	34.0k	2018	128	faceswap-GAN
FaceForensics++(FF-DF)	1,000	509,9k	1,000	509.9k	2019	480, 720, 1080	Deepfakes, Face2Face, FaceSwap, NeuralTextures
Google/Jigsaw DeepFake (DFD)	363	315.4k	3,068	2,242.7k	2019	480, 720, 1080	DeepFake maker
Facebook DeepFake detection challenge Dataset (DFDC)	1,131	488.4k	4,113	1,783.3k	2019	480, 720, 1080	2 farklı faceswap algoritması
Celeb-DF	590	225.4k	5,639	2,116.8k	2019	256	DeepFake synthesis algorithm

Tablo 2. Öne çıkan derin sahte tespit yöntemlerin mimarisi ve performansı

Yöntemler	Sınıflandırma / Teknikler	İçerik			Kaynak Türü				Uygulanan Veri Seti / ACC – EER - AUC						
		Özellik	Yüz	Görüntü	Görüntü	Video	Ses	FF-DF	UADFV	Celeb-DF	DF-TIMIT	DFD	DFDC	Diğer	
Göz kırpması [11]	LRCN (LSTM+CNN)	•	•			•									0.99
Uzay-zamansal özellikleri kullanma [15]	RCN (CNN+RNN)	•		•		•		96,9							
Çerçeve içi ve zamansal tutarsızlıklar [16]	CNN+RNN	•		•											97,1
Yüz çarpıtma yapılarını kullanma [12]	CNN	•			•	•		93,0	97,7	64,6	99,9	93,0	75,5		
MesoNet [17]	CNN			•		•		95,23	82,1	53,6	87,8				
Kapsül adli tıp [18]	Capsule CNN		•		•	•		99,33							
Baş pozları [10]	SVM	•	•		•	•		47,3	89,0	54,6	53,2		55,9		
Yüz manipülasyonu [13]	CNN	•	•		•	•									100-0,1

Multi-task öğrenme [19]	CNN+DE		•		•	•				36,5	62,2			
Ses tutarsızlığı [20]	LSTM					•	•							24,74
Ses tutarsızlığı [21]	LSTM+DNN	•				•	•							17,6
Ses özellikleri [22]	DNN	•				•	•							1,26
Video ve Ses özellikleri [23]	LSTM	•		•		•	•	100		99,6				
XceptionNet [24]	CNN							99,26		38,7	56,7			

Tablo 2. Devamı

3.2. Görüntü Kalitesi ve Çözünürlüğü

Tespit uygulamalarının performansı düşük ve yüksek kalitedeki veri setlerinde ayrı ayrı değerlendirilmektedir. Uygulamalarda özellikle resmin özelliği ve dokusunu kullanan yöntemlere göre görüntünün çözünürlüğü bir kısıt olarak ortaya çıkmaktadır. Tablo 1’de veri setlerinin kullandıkları çözünürlük örnekleri verilmiştir. Birçok uygulamada ön işlemlerde kullanılan yüz tanıma ve çıkarma işlemlerinde görüntü kalitesinin ve çözünürlüğünün performans etkisi görülmektedir. Ayrıca videolardaki çerçeve sayısı mekânsal ve zamansal tutarsızlıkların performansını da etkilemektedir. Aynı şekilde videoların sıkıştırılma formatları da videodaki çerçeve özelliklerini sıkıştırdığından dolayı performansa etki eden bir diğer unsurdur. Görüntülerin fiziksel özelliklerinin yanı sıra çekim ortamları ve portre çekimleri de uygulamalar için önemli etkenlerdir. Işık yansımaları, aydınlatma ve gölge oluşumu görüntü özellikleri için ayırt edici bir etkidir. Tespit uygulamaların bazıları mimarilerinde bu ayırt edici özellikleri kullanmışlardır. Veri setlerindeki portre çekim videolarında uzaklık ve bakış açısı performans etkilerinden biridir. Ayrıca portre çekimlerinde kullanılan gözlük, pirsin, şapka, atkı gibi aksesuarlar, yapılan makyajlar, saç, sakal, bıyık, kaş gibi ayırt edici özellikler veri setini şekillendiren diğer etkenlerdir.

3.3. Ön İşlemler

Ön işlemler uygulamaların giriş katmanı olarak değerlendirilir. Uygulamaya giriş olarak alınan kaynak verinin uygun formata dönüştürülmesi gerekmektedir. Uygulamaların genelinde resim ile çalıştılarından, kaynak olarak verilen video çerçevelere yani resme dönüştürülür. Resim üzerinde uygulanacak işlemler için resim boyutlandırma ve tonlama, kontrast gibi filtreler uygulanır. Uygulamanın gerekli olan çalışma bölgesi için resim kırılır. Çoğu uygulamada kullanılan yüz bölgesi için bu işlem yüz tespiti ve yüz çıkarımı olarak yapılır. Farklı uygulamalar için bunlar kafa, göz veya ağız bölgeleri olabilir. Bölge seçimi tamamen uygulamadaki algoritmaya bağlıdır. Çerçeve seçimi, bölge seçimi, bölge çıkarımı ve sonrası için uygulanan görüntü filtreleri, iki boyutlu veya üç boyutlu dönüşümler için seçilen yöntemler hız ve doğruluk performanslarına etki eden unsurlardır. İşleme alınan görüntüler ön işlemler ve bir sonraki katmanda uygulanacak adımlar için boyutlandırma ve döndürme işlemleri uygulanmaktadır. Yapılan bu tür işlemler doğruluk performansı için doğru, hız performansı için ters orantılı olabilmektedir veya tam tersi de olabilir. Bu tamamen sonraki katmanlarda yapılan işlemlere bağlıdır. Performans etkisini iyileştirmek için ön işlemlerde kullanılan algoritmada doğru ve hızlı yöntemlerin seçilmesi gereklidir.

3.4. Yapay Sinir Mimarisi

Ön işlemlerden sonra gelen bu orta katman, birkaç katmanın birleşiminden oluşabilir. Bu katmanda resimler bir vektör olarak işlenir. Tasarlanan yapay sinir ağı ile vektörlerdeki mekânsal ve

zamansal tutarsızlıklar tespit edilmeye çalışılır. Kullanılan sinir ağı modülleri, sinir ağındaki katman sayısı, kayıp fonksiyonu ve döngü sayısı performansa etki eden unsurlardır. Bazı uygulamalarda sinir ağı ile özellik çıkarımı veya çerçeveler arasındaki zamansal tutarsızlıklar ele alınırken bazı uygulamalar her ikisini de kullanmaktadır [23, 16, 15]. Evrişimli sinir ağlarındaki vektör işlemlerinde kullanılan yöntemler sinir ağının performansını etkilemektedir. Yapay sinir mimarisinde kullanılan CNN, RNN, LSTM, RCN, LCRN, DNN, Capsule CNN ve AE gibi yapıların her birine özgü efektif özelliklerinin bulunması nedeniyle uygulamalarda birçok karma mimarilerin oluşmasını sağlamıştır. Bunun sonucunda da uygulamaların kendine özgü özelliklerinin ön plana çıkmasına sebep olmuştur. Karşılaştırmalara bakıldığında bazı uygulamaların daha doğru, bazı uygulamaların daha hızlı, bazı uygulamaların ise genelinin dışında alanına göre daha iyi olduğu görülür. Odaklandığı çözüm yöntemine göre bir mimari oluşturur ve o alanda daha başarılı bir performans gösterir. Bu durum hastalık türüne göre verilen tedaviye benzetilmektedir.

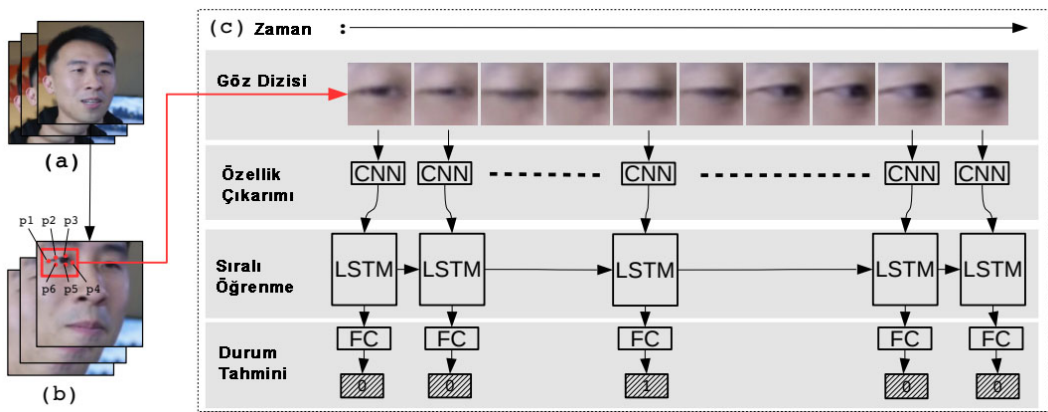
3.5. Sınıflandırma yöntemi

Tespit uygulamalarının mimarisinde yer alan son katmandır, son işlem katmanı olarak da adlandırılır. Bu katmanda tek satır/sütun veri vektörleri kullanılarak sınıflandırma işlemi yapılır. Algoritmalarından elde edilen özellik vektörünün sahte veya gerçek olduğu etiketlenir. Sınıflandırma yönteminde genellikle sinir ağları veya sınıflandırma algoritmaları yer alır. Sınıflandırma ağında Softmax, Gated Recurrent Unit (Kapılı Tekrarlayan Birim, GRU), CNN, RNN, Capsule gibi sinir ağları kullanılır. Ayrıca Logistic Regression, SVM (Destek Vektör Makineleri, Support Vector Machine) gibi meta sezgisel yöntemler de kullanılıyor.

4. Derin Sahte Video Tespiti Uygulamalarının Karşılaştırılması

Tablo 2’ de verilen derin sahte tespit yöntemlerinde çoğunlukla yüz içeriklerinin kullanıldığı görülmektedir [3]. Özellik çıkarımı, resim ve beden içeriklerini kullanan uygulamaların sayısı daha az ve veri setlerine bakıldığında doğrulukları düşüktür. Uygulamalar klasik makine öğreniminde SVM modelini, derin öğrenme teknolojisinde ise CNN modelini çoğunlukla kullanmışlardır.

Göz kırpması özelliği ile derin sahte tespiti yapılmaktadır. Kaynak videodan yüz tespiti yapılarak her bir çerçeve için göz bölgesi çıkarılır. CNN ağı ile çıkarılan özellikler LSTM ile zamansal olarak göz kırpması frekansı işlenir. Uygun olmayan göz kırpmalar bu şekilde tespit edilir. Tasarlanan model LRCN (Uzun Süreli Tekrarlayan Evrişimli Sinir Ağları, Long-term Recurrent Convolutional Neural Networks) olarak adlandırılır ve yapısı Şekil 2’ de gösterilmiştir [11].

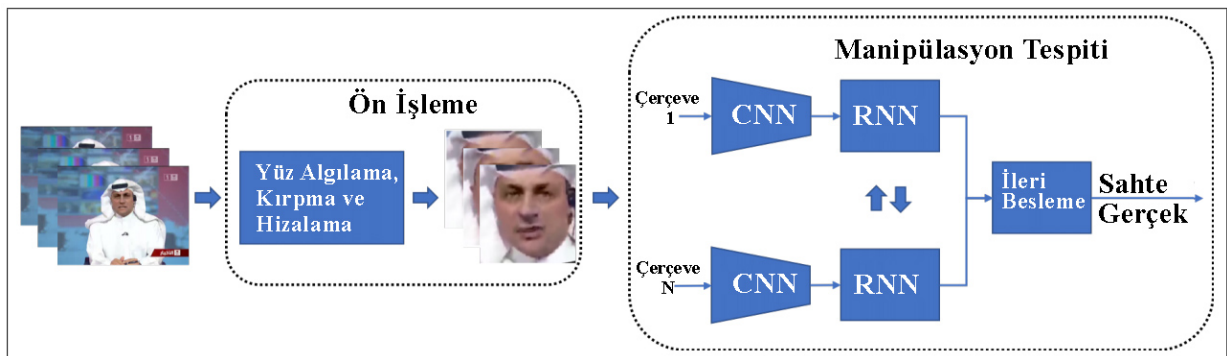


Şekil 2. Uzun süreli tekrarlayan evrişimli sinir ağları yöntemi [11]

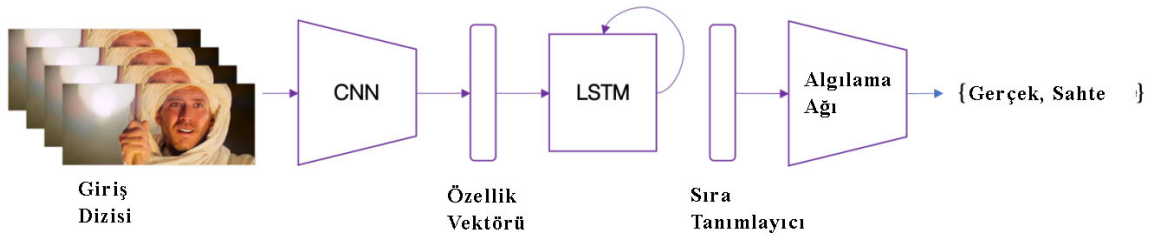
Tekrarlayan evrişimli sinir ağları (Recurrent Convolutional Neural Networks, RCN) yöntemi ile videolardaki sahte yüz tespit Şekil 3’de gösterilmiştir. Ön işleme aşamasında videodaki çerçevelerden yüz tespiti yapılarak yüz bölgesi kırpılır ve hizalanır. İkinci aşamada ön işlem yüz bölgesinin manipülasyon tespiti yapılır.

Belirli bir çerçeve sayısı için CNN ile özellik çıkarımı yapılır ve çerçevelerin birbirine zamansal olarak tutarlı olup olmadığı RNN ile tespit edilir [15].

Çerçeve içi ve zamansal tutarsızlıklar yönteminde ise CNN ve LSTM kullanılmıştır. Şekil 4’da gösterilen yöntemde her çerçevede CNN tarafından oluşturulan bir özellik vektörü elde edilir. Daha sonra, birden fazla ardışık çerçevenin özelliklerini birleştirip analiz için LSTM’ye aktarılır. Eğitim sırasında, LSTM modeli 2048 boyutlu ImageNet özellik vektörlerinin bir dizisini alır. LSTM’yi, 512 boyutlu tam bağlı katman izler. Son olarak da sahte video oluşup oluşmadığı tahmini için özellik vektörü softmax katmanına gönderilir [16].

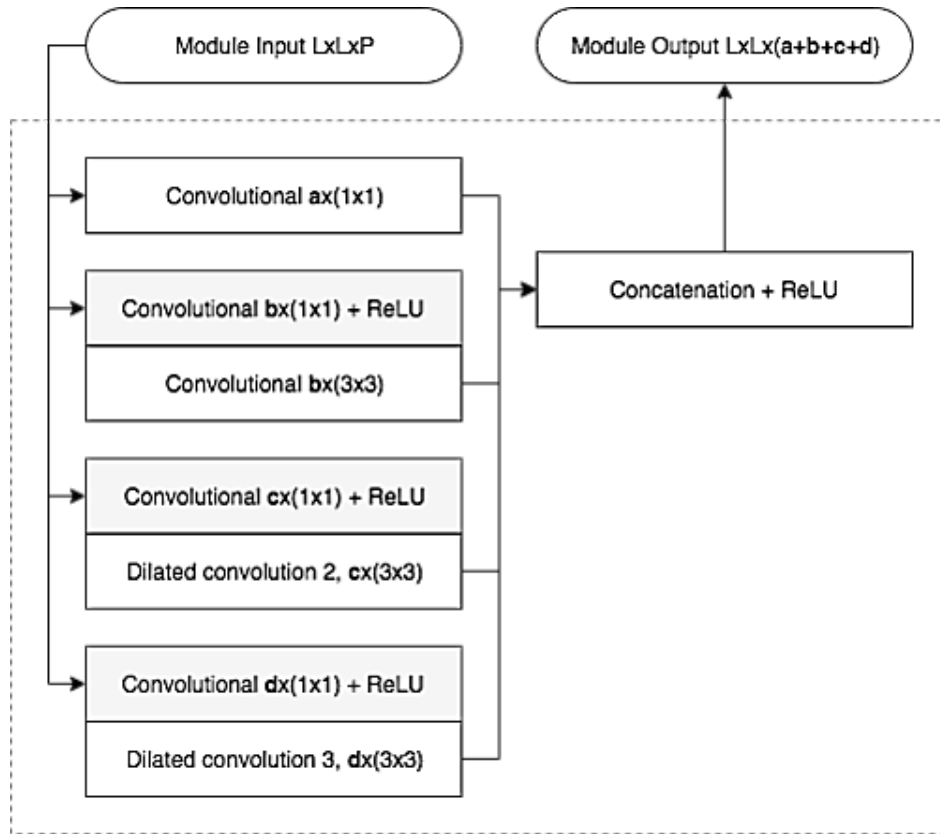


Şekil 3. RCN ile videodaki yüz manipülasyon tespiti [15]



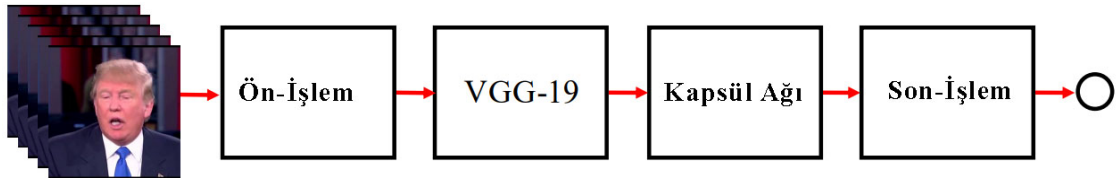
Şekil 4. Çerçeve içi ve zamansal tutarsızlıklar yöntemi [16]

Görüntü artefaktlarının tespiti için mikroskobik analizler yapılabilir. Fakat görüntüdeki artefaktları güçlü bir şekilde azaltan sıkıştırma algoritmaları kullanılmaktadır. Videolarda uygulanan farklı sıkıştırma formatları birçok derin sahte tespit yöntemini olumsuz yönde etkilemektedir. MaSonet yöntemi, az sayıda katmana sahip derin bir sinir ağı kullanarak orta düzey bir yaklaşım sunan ve Şekil 5’te gösterilen mimarisi ile sıkıştırılmış videolarda önemli bir başarı sağlamıştır [17].



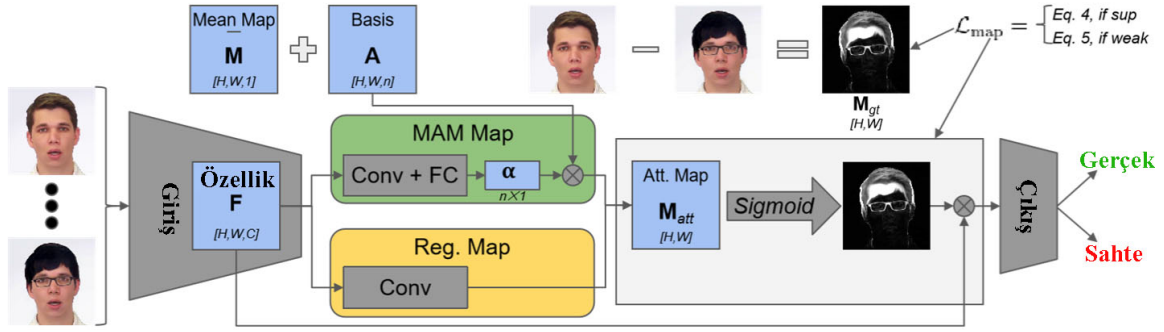
Şekil 5. MesoInception-4 yönteminin mimari yapısı [17]

Kapsül yöntemi ile yapılan uygulamalarda, dinamik yönlendirme algoritması tarafından hesaplanan kapsüller arasındaki anlaşma ile, nesne parçaları arasındaki hiyerarşik poz ilişkilerinin iyi tanımlanabileceğini göstermiştir. Dinamik yönlendirme algoritması kullanılarak elde edilen kapsüller arasındaki anlaşma, karmaşık ve neredeyse kusursuz olan sahte görüntüler ve videolar üzerinde algılama performansını artırabilir. Kapsül yöntemi Şekil 6'de gösterilmiştir. Giriş için çerçeveler kullanılır ve önışlemede yüz algılama yapılır. VGG-19 ağında kapsül ağı için gizli özellikler çıkarılır. Kapsül ağı ise 3 farklı kapsülden oluşmaktadır. Nihai sonucu elde etmek için işlem sonrası aşamasında, olasılıkların ortalaması alınır [18].



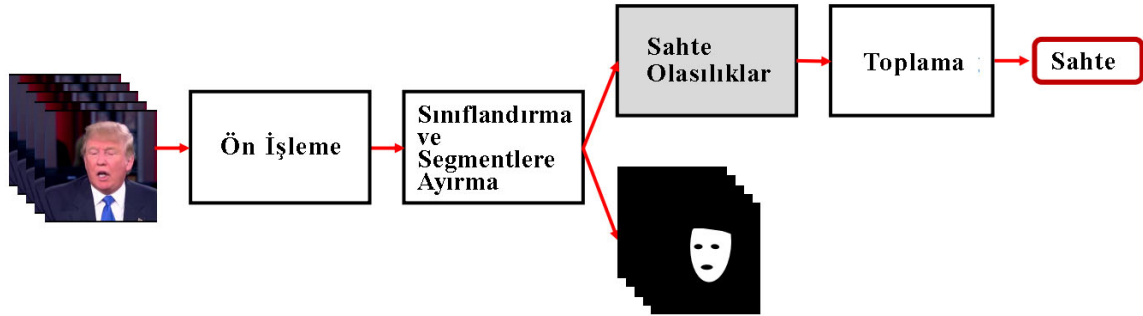
Şekil 6. Capsule CNN yöntemi genel gösterimi [18]

Şekil 7' de gösterilen mimaride, manipüle edilmiş yüz algılamayı CNN tabanlı bir ağ kullanarak ikili bir sınıflandırma problemi uygulanmıştır. Ayrıca, sınıflandırıcı modelin özellik haritalarını işlemek için dikkat mekanizmasını (attention mechanism) kullanılmıştır. Öğrenilen dikkat haritaları, bir görüntüdeki CNN'in kararını etkileyen bölgeleri vurgulayabilir ve ayrıca CNN'in daha ayırt edici özellikleri keşfetmesine rehberlik etmek için kullanılabilir [13].



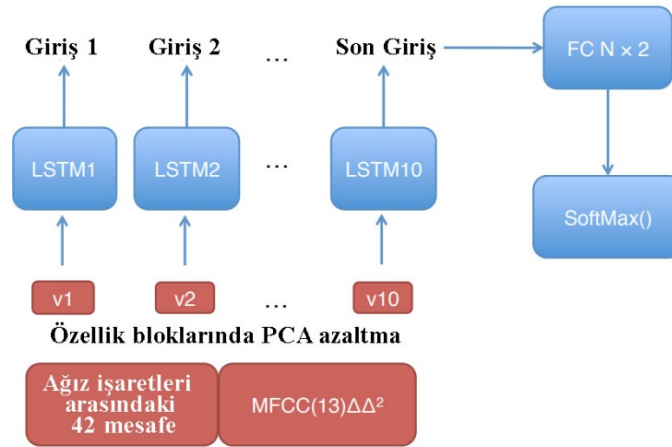
Şekil 7: Yüz manipülasyon algılama mimarisi [13]

CNN ve linear unit (ReLU) ağını kullanarak Y-shaped Autoencoder yöntemini oluşturan uygulama Şekil 8'de gösterilmiştir. Uygulama farklı boyutlardaki resim ve videodaki kaynaklardan yüz bölgesinde bölümlenme ve sınıflandırma işlemi yapmaktadır [19].



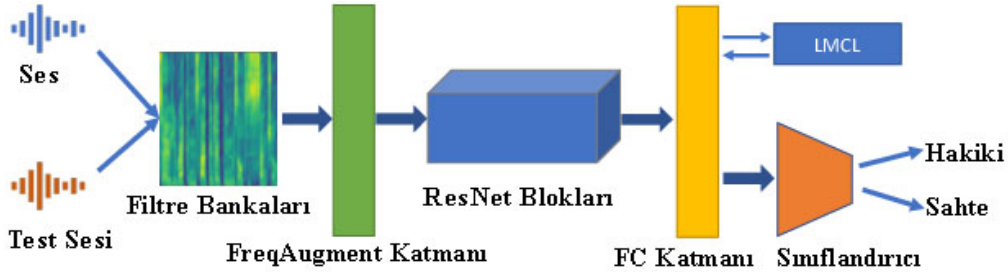
Şekil 8: CNN+DE modülleri ile Multi-task öğrenme yöntemi [19]

Dublaj ve dudak senkronizasyonu kullanılarak görsel-işitsel tutarsızlık tespiti yapılabilir. Yöntem Şekil 9'de gösterilmiştir. Ses için genellikle Mel-Scale Frequency Cepstral Coefficients (MFCC) kullanılırken, derin sinir ağları (DNN'ler) ile optik akıştan öğrenilen özelliklere kadar değişen farklı görsel özellikler yüzün ağız bölgesinden çıkarılır. Çıkarılan özellikler daha sonra, bir sınıflandırıcıya gönderilmeden önce, uzun kısa süreli bellek veya evrişimli sinir ağları gibi en iyi performans gösteren örnekler olarak bir miktar işlemden geçer. Algılama sistemi için, MFCC'leri ses özellikleri olarak ve ağızdaki önemli noktalar arasındaki mesafeleri görsel özellikler olarak bu yöntemde kullanıldı [20].



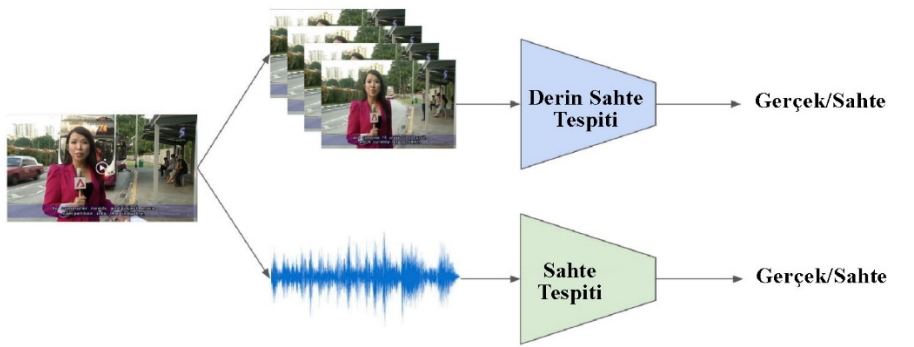
Şekil 9: Ses tutarsızlığı ile manipüle video tespit yöntemi [20]

Videolardaki sahte ses tespiti için Şekil 10’ de önerilen yöntemde öğrenmeyi daha etkin kılmak için LMCL (Büyük Marj Kosinüs Kaybı Fonksiyonu, Large Margin Cosine Loss Function) ve çevrimiçi frekans maskeleye artırma işlemlerini önermiştir. DNN modelinin genelleme yeteneğini daha da artırmak için DNN eğitimi sırasında bitişik frekans kanallarını rastgele maskeleyen bir katman olan FreqAugment kullanılmıştır [22].



Şekil 10: Sahte ses tespit yöntemi [22]

Sahte seslerin oluşturulmasında iki ana yöntem olan Mantıksal Erişim (Logical Access:LA) ve Fiziksel Erişim (Physical Access: PA) vardır. LA durumunda, sahte ses, bir metinden konuşmaya veya bir ses dönüştürme yazılımı kullanılarak üretilir. Metinden konuşmaya sentez yazılımı ile, bir metin girişi, hedef konuşmacınıninkine benzer bir sese sahip bir konuşma çıkışına dönüştürülebilir. Bir ses dönüştürme yazılımı, bir kaynak konuşmacı tarafından verilen bir konuşmanın, aynı dil içeriğine (yani metin bilgisi), ancak farklı bir konuşmacı kimliğine sahip olan farklı bir söyleyişe dönüştürülmesine izin verir. PA yönteminde güvenlik sistemini hedef konuşmacının gerçekten konuştuğuna inanması için hedef konuşmacının önceden kaydedilmiş bir konuşması yeniden oynatılır. Sahte seslerin tespiti için derin sinir ağları ile birlikte Constant-Q Cepstrum Coefficients (CQCC), MFCCs ve Gaussian Mixture Models (GMMs) gibi konuşma özellikleri kullanılmıştır. Şekil 11’deki yapıda hem ses hem de video tespiti için etkin yöntemler kullanılarak veri setlerinde test edilmiştir. XceptionNet, ConvLSTM ve FaceNetLSTM yapılarını kullanarak farklı kayıp fonksiyonları ile derin sahte tespitini yüksek doğruluklarda gerçekleştirmişlerdir [23].



Şekil 11: Derin sahte video ve ses algılama için tekrarlayan evrişimli yapılar [23]

4.1. Deepfake Video Tespit Zorlukları

Ses ve video veri dosyalarını saklanması, taşınması ve işlenmesi önemli ölçüde teknolojik gereksinime ihtiyaç duyar. Bunu gidermek için çeşitli sıkıştırma işlemleri uygulanır. Sıkıştırma işlemleri ile verilerde birtakım kalite kayıpları olur bu da veri analizlerini olumsuz etkiler. Özellikle adli vakalardaki video analizlerinde ve sahte video tespitinde kalitedeki kayıplar önemli oranda etkilemektedir. Sahteciliğin tespit edilememesi için videoların sıkıştırma işlemi uygulanmaktadır. Mpeg

ve H.264 gibi sıkıştırma standartları uygulanarak videolardaki çerçeveler arasındaki fark bilgileri kullanılarak boyutu azaltılır.

Sahteciliğin fark edilemediği düşük kalitedeki videolar oluşturulmaktadır. Çoğu tespit yöntemlerinde düşük kalitedeki videolarda verim düşmektedir. Tespit yöntemlerinin hem düşük kalitede hem de yüksek kalitedeki videolarda yüksek ve kabul edilebilir doğrulukta sonuç vermeleri gerekir.

Orijinal videoları doğrulamak için gizli filigranlar ve blok zinciri teknolojileri kullanılabilir fakat bu teknikler internetteki paylaşımların önüne geçemiyor. Sahte haberlerde gördüğümüz gibi, bir içerik parçasının kolayca çürütülebilir olması, tıklanmayacağı ve çevrimiçi olarak okunmayacağı ve paylaşılmayacağı anlamına gelmez. Bu nedenle denetimlerin gerçek zamanlı olması veya paylaşımların yapılmadan önce denetlenmesi gerekiyor.

Derin sahte tespit yöntemleri, derin sahte yapmak için kullanılan yöntemlere yeterince benzerdir ve tespit için tasarlanan modeller, sahte olanları iyileştirmek için kullanılabilir. Bu da derin sahte oluşturma modellerini daha da başarılı hale getirecektir. Anlaşılan budur ki ikisi arasındaki çekişme hiç bitmeyecek.

Organizatörlerin ve kuruluşların araştırmacılar için oluşturdukları derin sahte video veri setindeki performans ile gerçek veri setindeki performans arasında önemli bir tutarsızlık vardır. Yüksek doğruluğu olan modeller gerçek veri setinde test edildiğinde doğruluğu yüzde 65'e kadar düşmektedir. Bu nedenle paylaşılan veri setlerinin daha da geliştirilerek gerçek derin sahte videolara benzemesi gerekiyor ki tespit yöntemleri de daha iyi performans versin.

Derin sahte teknoloji ile oluşturulan videolar paylaşımına sunulmadan önce manuel olarak videodaki hatalar düzeltilmektedir. Bu tür sonradan yapılan düzeltmeler tespit oranını düşürür hatta tespiti boşa çıkarabilir.

Derin sahte eğitim ve uygulama süreci yüksek donanımlara rağmen uzun zaman sürebilmektedir. Veri setinin kapasitesine ve kalitesine bağlı olarak uzun süren eğitim süreci uygulamaların en büyük zorluklarından biridir. Sürenin kısaltılması için yüksek kapasite ve hızda GPU ve CPU donanımlar kullanılmaktadır bu da pahalıya mal olmaktadır.

Derin sahte video oluşturmanın kısıtlarından biri de kaynak verilerde kişiye ait görüntüleri aynı veya benzer olmasıdır. Benzer yüz ve ten tonları kullanılmaktadır. Kaynak görüntülerdeki açı çeşitliliğinin olması gereklidir.

5. Sonuçlar

Manipüle edilmiş içeriklerin oluşturulması hızla gelişen bir sorundur ve bu içerikleri tanımlamak teknik olarak zordur. Bu nedenle daha iyi algılama araçları oluşturmak gereklidir. Derin sahte için geliştirilen yapay zekâ algoritmaları derin sahte tespit için geliştirilen algoritmalarından bir kaç adım daha önde ilerliyor. Derin sahte oluşturma teknolojileri hızla geliştikleri ve kullanımların gittikçe kolaylaştığı için ayrıca sosyal medyada hızla paylaşılarak yayıldığı için kritik bir sorun oluşturmaktadır. Buna karşın çözüm araştırmalarının daha sağlam, ölçeklenebilir ve geliştirilebilir yöntemler sunmaya odaklanması gerekmektedir. Mevcut tespit yöntemlerinin kısıtlarının azaltılarak daha da geliştirilmesi gerekmektedir. Derin sahteler ile yapılan mücadelede resmi kurumların da gerekli önlemleri almaları ve gerekli hukuksal düzenlemeleri yapmaları gerekmektedir. Derin sahtelerin toplum üzerindeki etkileri ve olası kaosları önlemek için farkındalık eğitimleri verilmelidir. Bu mücadelede büyük bir paya sahip olan sosyal medya platformlarının da sistemlerini güncelleyerek ve yeni tespit sistemleri ile daha da geliştirerek çevrimiçi olarak müdahale etmeleri gerekmektedir.

Yeni bir konu ve güncel bir sorun olan derin sahte teknolojisi derin öğrenme teknolojisinin ve algoritmaların yeni modelleri ile gelişmeye devam etmektedir. Teknolojinin doğal bir sorunu olarak ortaya çıkan bu sorun güncelliğini her zaman koruyacaktır.

Gelecek çalışmalarda derin sahte videoların test edilmesi için çevrim içi bir web servisi uygulaması yapılması planlanmaktadır. Araştırmacıların ve veri bilimcilerin ücretsiz olarak faydalandığı Google firmasının sunduğu Colaboratory (ya da kısaca "Colab"), TÜBİTAK ULAKBİM Yüksek Başarımlı ve Grid Hesaplama Merkezi olan Truba olarak adlandırılan sunucular ve üniversitelerin yüksek başarımlı hesaplama merkezlerinin sunucularının kullanılması planlanmaktadır. Python dili ile yazılacak olan bu tür uygulamaların test edilmesi için kullanılan cihazların 24 çekirdekli işlemcilerden daha fazla işlemciye, 32 GB'dan daha kapasiteli ön belleğe ve GPU özellikli ekran kartlarına (Nvidia P100 GPU) ihtiyaç vardır.

Kaynaklar

- [1] N. Aalami, Derin öğrenme yöntemlerini kullanarak görüntülerin analizi, Eskişehir Türk Dünyası Uygulama ve Araştırma Merkezi Bilişim Dergisi, no. 1, pp. 17-20, 2020.
- [2] M. E. Berk, Dijital Çağın Yeni Tehlikesi "Deepfake", OPUS Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi, no. 16 (28), pp. 1508-1523, 2020.
- [3] Y. Mirsky ve W. Lee, The creation and detection of deepfakes: A survey, ACM Computing Surveys (CSUR), cilt 54, p. 1–41, 2021.
- [4] T. T. Nguyen, C. M. Nguyen, D. T. Nguyen, D. T. Nguyen ve S. Nahavandi, Deep learning for deepfakes creation and detection, arXiv preprint arXiv:1909.11573, cilt 1, 2019.
- [5] A. Rossler, D. Cozzolino, L. Verdoliva, C. Riess, J. Thies ve M. Nießner, Faceforensics++: Learning to detect manipulated facial images, Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision, 2019.
- [6] M. Albahar ve J. Almalki, Deepfakes: Threats and countermeasures systematic review, Journal of Theoretical and Applied Information Technology, cilt 97, p. 3242–3250, 2019.
- [7] R. Tolosana, R. Vera-Rodriguez, J. Fierrez, A. Morales ve J. Ortega-Garcia, Deepfakes and beyond: A survey of face manipulation and fake detection, Information Fusion, cilt 64, p. 131–148, 2020.
- [8] L. Verdoliva, "Media forensics and deepfakes: an overview.", IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing 14(5), pp. 910-932, 2020.
- [9] S. Pino, M. J. Carman ve P. Bestagini, «What's wrong with this video? Comparing Explainers for Deepfake Detection,» arXiv preprint arXiv:2105.05902, 2021.
- [10] X. Yang, Y. Li ve S. Lyu, Exposing deep fakes using inconsistent head poses, ICASSP 2019-2019 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2019.
- [11] Y. Li, M.-C. Chang ve S. Lyu, In icu oculi: Exposing ai created fake videos by detecting eye blinking, 2018 IEEE International Workshop on Information Forensics and Security (WIFS).IEEE, pp. 1-7, 2018.
- [12] Y. Li ve S. Lyu, Exposing deepfake videos by detecting face warping artifacts, arXiv preprint arXiv:1811.00656, 2018.
- [13] H. Dang, F. Liu, J. Stehouwer, X. Liu ve A. K. Jain, On the detection of digital face manipulation, Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2020.
- [14] J. Baciak, M. Żurawska, T. Czech ve B. Górný, Deepfake video detection using the ensemble of neural networks, comarch, 2020. Available: https://www.researchgate.net/publication/344554345_Deepfake_video_detection_using_the_ensemble_of_neural_networks.

- [15] E. Sabir, J. Cheng, A. Jaiswal, W. AbdAlmageed, I. Masi ve P. Natarajan, Recurrent convolutional strategies for face manipulation detection in videos, *Interfaces (GUI)*, cilt 3, 2019.
- [16] D. Güera ve E. J. Delp, Deepfake video detection using recurrent neural networks, 2018 15th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS).IEEE, pp. 1-6, 2018.
- [17] D. Afchar, V. Nozick, J. Yamagishi ve I. Echizen, Mesonet: a compact facial video forgery detection network, 2018 IEEE International Workshop on Information Forensics and Security (WIFS), 2018.
- [18] H. H. Nguyen, J. Yamagishi ve I. Echizen, Capsule-forensics: Using capsule networks to detect forged images and videos, ICASSP 2019-2019 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP).IEEE, pp. 2307--2311, 2019.
- [19] H. H. Nguyen, F. Fang, J. Yamagishi ve I. Echizen, Multi-task learning for detecting and segmenting manipulated facial images and videos, 2019 IEEE 10th International Conference on Biometrics Theory, Applications and Systems (BTAS), 2019.
- [20] P. Korshunov ve S. Marcel, Speaker inconsistency detection in tampered video, 2018 26th European Signal Processing Conference (EUSIPCO), 2018.
- [21] P. Korshunov, M. Halstead, D. Castan, M. Graciarena, M. McLaren, B. Burns, A. Lawson ve S. Marcel, Tampered speaker inconsistency detection with phonetically aware audio-visual features, *International Conference on Machine Learning*, 2019.
- [22] T. Chen, A. Kumar, P. Nagarsheth, G. Sivaraman ve E. Khoury, Generalization of audio deepfake detection, *Proceedings of the Odyssey Speaker and Language Recognition Workshop*, Tokyo, Japan, 2020.
- [23] A. Chintla, B. Thai, S. J. Sohrawardi, K. Bhatt, A. Hickerson, M. Wright ve R. Ptucha, Recurrent convolutional structures for audio spoof and video deepfake detection, *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, cilt 14, p. 1024–1037, 2020.
- [24] F. Chollet, Xception: Deep learning with depthwise separable convolutions, *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, pp. 1251--1258, 2017.

ERZİNCAN 112 ACİL ÇAĞRILARININ COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ VE FARKLI İSTATİSTİKSEL ANALİZ YÖNTEMLERİ İLE MODELLENMESİ

Mehmet Oğuzhan GÜREL^{1*}, Halim Ferit BAYATA², Osman Ünsal BAYRAK³

¹Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, 24100, Erzincan, Türkiye

²Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 24100, Erzincan, Türkiye

³Atatürk Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 25030, Erzurum, Türkiye

Geliş tarihi: 08.03.2021 Kabul tarihi: 25.05.2021

ÖZET

Acil durum araçlarının belirlenen uzaklıklara en kısa sürede ulaşabilmesinde yaşanacak güçlüklerin önüne geçilmesi açısından acil durum istasyonlarının yerlerinin belirli aralıklarla düzenlenmesi gerekmektedir. Son zamanlarda yapılan çalışmalar coğrafi bilgi sistemleri tabanlı analizlerin yer belirlemede etkili bir araç olduğunu göstermektedir. Literatür incelendiğinde, Türkiye'nin çeşitli şehirlerine ait istasyon yerleşim yeri belirleme çalışmalarının Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak yapıldığı görülmüştür. Bu çalışmada Erzincan Merkez 112 acil sağlık istasyonlarına gelen acil çağrılar kullanılarak mevcut istasyon konumlarının irdelenmesi için coğrafi bilgi sistemlerinin ve çağrılarının modellenmesi için zaman serileri ve yapay sinir ağlarının kullanılması amaçlanmıştır. Mevcut araştırma Erzincan merkezini kapsamakta olup, veriler 112 Merkezinden elde edilmiştir. Verilerin analizinde SPSS paket programı, matlab programı ve ArcGIS programı kullanılmıştır. Verilerin ArcGIS'de kullanılabilmesi için öncelikle temel coğrafi veri (harita) altlıkları oluşturulmuştur. Ardından veriler aynı koordinat sistemi içerisinde sayısallaştırılarak ArcGIS programına aktarılmıştır. Araştırmanın sonucunda istasyonların kapsam alanları göz önüne alındığında mevcut 112 istasyonlarının yerleşim alanlarının uygun yerleşim yerlerinde olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: 112 Acil, Coğrafi bilgi sistemleri, Zaman serileri, Yapay sinir ağları

EVALUATION OF 112 EMERGENCY CALLS OF ERZİNCAN WITH GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS AND MODELING WITH DIFFERENT STATISTICAL ANALYSIS METHODS

ABSTRACT

The location of the emergency stations should be arranged at regular intervals in order to avoid the difficulties that emergency vehicles can reach the specified distances in the shortest time. Recent studies show that geographic information systems (GIS) based analysis is an effective tool for locating. As the literature was reviewed, it was seen that detecting the station settlement location was carried with GIS in some provinces in Turkey. In this study, it was aimed to use time series and artificial neural networks to modelling of calls and the geographic information systems to determine the coverage of the existing station locations based on the calls received by Erzincan Merkez 112 emergency health stations. The current research covers the Erzincan center and the data were obtained from 112 Centers. SPSS package program, matlab program and ArcGIS program were used to analyze the data. In order to use the data in ArcGIS, basic geographical data (map) bases have been created. Then, the data were digitized in the same coordinate system and transferred to the ArcGIS program. As a result of the research, considering the coverage areas of the stations, it is concluded that the existing 112 stations are located in the appropriate location. increase in the emergency calls received in the future. Therefore, it is recommended that the analysis be repeated at regular intervals.

Keywords: 112 Emergency, Geographical Information Systems, Time series, Artificial neural networks.

* e-mail¹: oguzhan.gurel@erzincan.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9988-9169> (Sorumlu Yazar)

e-mail²: hfbayata@erzincan.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8274-8888>

e-mail³: unsalb@atauni.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4039-1248>

2. Giriş

Özellikle ambulans ve itfaiye gibi acil vakalara müdahale için kullanılan sistemler, insan sağlığı dolayısıyla insan hayatı ile doğrudan ilişkili olduğu için, bu birimlerin doğru planlanması ve yüksek seviyede hizmet vermesi ile acil durum etkilerinin en aza indirgenmesi sağlanabilir. Acil tedavi gerektiren hastalık, söndürülmeyi bekleyen bir yangın, güvenlik birimlerinin müdahalesini gerektiren bir durum sonucu ölüm veya sakatlık hallerinin ortaya çıkma olasılığı müdahale zamanı ile yakından ilişkilidir. Müdahale süresini etkileyen en önemli problemlerin; çağrı merkezine gelen yanlış çağrılar, yanlış adres bildirimleri, yetersiz teknoloji, ambulansların meşgul olma durumları, ilgili kurum ve kuruluşlar arasındaki iletişim problemleri, yetersiz ekipman, trafik yoğunluğu veya istasyonların konumlarından kaynaklı problemler olduğu bilinmektedir [1,2]. Özellikle acil durum araçları için acil müdahalelerde hızlı ve etkili olunabilecek bir yere konumlandırılması maliyet açısından da önem arz etmektedir. Yerleşim yerlerindeki artan nüfus, ekonomik gelişmeler, doğal afetler, tüketim alışkanlıkları ve ekonomik gelirin değişmesi gibi durumlar sonucunda yerleşim yerlerinde daha hareketli bir yaşam oluşmaktadır. Yerleşim yerlerindeki bu değişimlerden dolayı acil sağlık istasyonlarının yerlerinin sürekli denetlenerek, belirli aralıklarla yenilenmesi gerektiği aşikardır. Böylelikle yaşanabilecek olan can ve mal kayıplarını minimize edilmesi ve maksimum fayda sağlanması gerçekleştirilebilir [1]. Ambulansların hızlı bir şekilde vakaya ulaşip müdahale etmeleri, acil sağlık hizmetlerinde (ASH) bilimin aktif ve doğru kullanılmasıyla sağlanabilir [3,4,5,6]. 112 istasyonlarının yerini belirlenmesinde farklı bilgi teknolojileri ve görüntüleme şekilleri kullanılmaktadır. Bunlardan bazılarını; Yapay Zekâ Bazlı Çağrı Görüntüleme Sistemleri, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Araç Yerleştirme Sistemleri ve Yol Ağı Gözetimi olarak sayabiliriz [3,4,7]. Son zamanlarda yapılan çalışmalara bakıldığında [8,9] coğrafi bilgi sistemleri alt yapısını kullanarak hızla yaygınlaştığı ve konum analizlerinde etkin bir araç olduğu görülmektedir [2,6,10,11]. Buna benzer olarak Sağlık Bakanlığı'nca yapılan planlamalarda kullanılan karar destek sistemleri, coğrafi bilgi sistemleri ile entegre hale getirilmiştir. İstasyon yerleriyle ilgili yeniden konum belirlenmesi için yapılan çalışmalar incelendiğinde Erkal ve Değerliuyurt [8] tarafından gerçekleştirilen araştırmalarda coğrafi bilgi sistemleri dahilinde network analizi yapılmış ve çalışmalar neticesinde inceleme alanında bulunan istasyon yerleşimlerinin dengeli olmadığı ve birbirine yakın olmasının, hizmet alanlarındaki kesişmelere neden olduğu görülmüştür. Benzer şekilde Yağcı vd. [11], Konya iline ait istasyonlar için en uygun konumlandırmayı tespit etmek için yapılan çalışmada, coğrafi bilgi sistemleri tabanlı buffer analizi kullanıldığı görülmektedir. Gerçekleştirilen buffer analizi sonucunda çalışma alanına ait bazı bölgelerde istasyonların hizmet alanlarının kesiştiği, bazı bölgelerde ise yetersiz kaldığı belirlenmiştir. Swalehe [9] tarafından yapılan çalışmada, Eskişehir iline ait belirlenecek 112 istasyonları için yine coğrafi bilgi sistemleri kullanılmıştır. 112 çağrıları temel alınarak en uygun istasyon yerleri talebin fazla olduğu bölgelerde yoğunlaştırılmış ve böylelikle yanıt süreleri azaltılmıştır. Baloyi vd. [2] tarafından yapılan çalışmada Tshwane şehrinde bulunan acil sağlık hizmetleri istasyon konumlarının belirlenmesi amacıyla coğrafi bilgi sistemleri tabanlı programdan faydalanılmıştır. Sonuçta mevcut istasyon konumlarının yerleşim yerindeki dağılımının iyi olduğu, ancak araç tahsisatında uyumsuzluk belirlenmiştir. Literatür değerlendirildiğinde acil durum istasyonlarının yetersiz olduğu, dağılımlarının dengeli olmadığı, hizmet alanlarının kesiştiği, araç tahsisinde bir uyumsuzluk yaşandığı sonucuna ulaşılmış ve bu doğrultuda çeşitli istasyon yeri önerilerinde bulunulmuştur.

2019 yılı itibarıyla Erzincan merkez beldeleri mahalle olarak Erzincan iline bağlanan ve il merkezindeki nüfus dağılımı değişmiştir. Bu nedenle halihazırda bulunan acil sağlık hizmetleri istasyon konumlarının değerlendirilmesi ve yeniden en uygun noktaların belirlenmesi çok önemlidir. Bu çalışmada Erzincan Merkez 112 acil sağlık istasyonlarının aldığı çağrılardan hareketle mevcut istasyon yerlerinin kapsayıcılığının belirlenmesi için coğrafi bilgi sistemlerinin ve çağrıların modellenmesi için zaman serilerinin ve yapay sinir ağlarının kullanılması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metod

2.1. Araştırmanın Yeri ve Özellikleri

Erzincan ili, Doğu Anadolu Bölgesinin Kuzey Batı bölümünde yukarı Fırat havzasında 39 02' - 40 05' kuzey enlemleri ile 38 16' - 40 45' Doğu boylamları arasında yer almaktadır. Erzincan, Doğuda Erzurum, Batıda Sivas, Güneyde Tunceli, Güneydoğuda Bingöl, Güneybatıda Elazığ, Malatya, Kuzeyde Gümüşhane, Bayburt ve Kuzeybatıda Giresun illeri ile çevrilidir. İl merkezinin denizden yüksekliği 1.185 metredir [12]. Erzincan nüfusu 236.034 'dür. Yüzölçümü 11.903 km2 olan Erzincan ilinde kilometrekareye 20 insan düşmektedir [13]. Bu ile ait harita Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Erzincan ilinin konumu

Tanımlayıcı tipteki bu araştırma Erzincan merkezinde bulunan mahalleler ve 2019 yılında yapılan yerel seçimlerle beraber merkez mahalle olan Akyazı, Kavakyolu, Yaylabaşı Çukurkuyu, Ular, Yoğurtlu, Yalnızbağ ve Geçit beldeleri de dahil edilerek yapılmıştır. Araştırmamız dahilinde inceleyeceğimiz merkez mahalle ve bağlanan beldelere ait toplam nüfus 141.183 kişidir. Erzincan iline ait 27 mahalle ve 8 belde bulunmaktadır. En fazla nüfusa sahip olan mahalleler sırasıyla Demirkent, Mimar Sinan, Yavuzselim, Cumhuriyet mahallesi iken en az nüfusa sahip olan mahalleler Karaağaç, Kurutilek, Ersevenler mahalleleridir.

2.2. Erzincan Merkez 112 Acil Sağlık Hizmetleri İstasyonlarının Özellikleri

Erzincan 112 Acil Komuta Kontrol Merkezi Başhekimliğiyle beraber merkezde 5 adet ve ilçelerle beraber toplam 15 adet 112 istasyonu bulunmaktadır. Erzincan ASH istasyonları incelendiğinde toplam 57 adet ambulans ve kırsal alanda kullanılmak üzere 5 adet paletli ambulansla birlikte toplam 59 ambulansla acil sağlık hizmeti vermektedir. Kentsel alanda çağrılara 10 dakikanın altında, kırsal alanlarda ise vakaya 30 dakikalık süre içerisinde ulaşım sağlanması hedeflenmiş, ASH bu hedefler doğrultusunda gerçekleştirilmektedir [14]. Erzincan merkez 1 No'lu ASH istasyonu Bahçelievler Mahallesi Halitpaşa Caddesi Erzincan Belediye binası ve eski SSK Hastanesi arasında; 2 No'lu ASH istasyonu Kızılay Mahallesi Emek Caddesi SGK binası yanında; 3 No'lu ASH istasyonu İl Sağlık Müdürlüğü yanında Fatih Mahallesi 709 Sokak adresinde; 4 No'lu ASH istasyonu eski Yalnızbağ Belde Belediye binası karşısındaki adreste ve 5 No'lu ASH istasyonu Başbağlar Mahallesi Hacı Ali Akın Caddesi no:32

adresinde bulunan Mengücek Gazi Eğitim ve Araştırma Hastanesi içine konuşlanmıştır. Bu istasyonlar her an vakaya müdahale için hazır olup, bütün istasyonlar 24 saat nöbet esasına göre çalışmaktadır. 1, 2, 3 ve 4 nolu 112 istasyonları A2 tipi, 5 nolu 112 istasyonu ise B tipi istasyon olarak hizmet vermektedir. Bütün istasyonlarda üçer kişilik ekipler müdahale için hazır şekilde bulunur ve bu ekiplerde bir ATT, bir paramedik ya da hemşire ve bir şoför bulunmaktadır. Ekipte şoför olmaması durumunda gerekli belgeleri bulunan ATT ya da paramedikler de ambulans kullanabilmektedir. 1, 2, 3 ve 4 nolu A2 istasyonlarının her biri ayrı bir binaya sahipken, 5 nolu B tipi istasyon Erzincan Mengücek Gazi Eğitim ve Araştırma Hastane binası bünyesinde hizmet vermektedir. 112 ASH'ne ait Komuta Kontrol Merkezi (KKM) 1 nolu 112 istasyonuna ait binada yer almaktadır. 1, 2, 3, 4, nolu istasyonlar öncelikli olarak acil vakalara müdahale için hazır beklerken, 5 nolu istasyon genellikle stabil durumda olan hastaların hastaneler arası veya hastanelerden eve nakilleri için kullanılmaktadır. Ancak 5 nolu istasyonda acil durumlarda 1,2,3 ve 4 nolu istasyonların yetersiz kalırsa KKM tarafından görevlendirilebilmektedir. Bir istasyonda aynı vardiyada görevli ambulanslar vakada iken acil bir çağrı alınırsa, çağrının durumuna göre KKM başka bir istasyonda bulunan ambulans ekibini görevlendirmektedir. Erzincan'da bulunan ASH istasyonlarında hekim bulunmamaktadır.

2.3. Verilerin Toplanması

Çalışmada kullanılan veriler 01.01.2018-31.12.2018 tarihleri arasında Erzincan ili 112 acil merkezlerine gelen çağrıları içermektedir. Erzincan 112 ASH Başhekimliğinden temin edilen verilerde bu çağrılara ait adres bilgileri, çağrının hangi ASH istasyonu tarafından cevaplandırıldığı, vakanın türü (medikal, sağlık tedbirleri, yangın, trafik kazaları, yaralama, intihar, iş kazası ve diğer kazalar), çağrıların tarih ve saatleri, hareket ve olay yerine varış saatleri gibi birçok bilgi yer almaktadır. Toplama bakıldığında Erzincan ASH istasyonlarından alınan 16.168 adet çağrı verisi kullanılarak çalışılma yürütülmüştür. Erzincan merkez mahalleleri ve 2019 yerel seçimleri sonrasında merkeze bağlanan beldelere ait nüfus verileri TÜİK 'e ait internet sitesinden temin edilmiştir.

2.4. Verileri Analizi

Bu çalışma dahilinde veri analizi yöntemi olarak coğrafi bilgi sistemleri, zaman serileri ve yapay sinir ağları kullanılmıştır

2.4.1. Coğrafi Bilgi Sistemleri

Coğrafi bilgi sistemleri analizinde kullanılmak üzere; öncelikle çalışma sahasındaki mahallelere ait coğrafi harita altlıkları, 112 istasyonlarına gelen acil çağrıları verileri ve bu istasyonların konumlarına ait Mekânsal veriler, CBS ortamına aktarılmıştır. Vektörel verilerin; nokta, hat ve alan özellikleri tanımlanıp çalışmada kullanılmak üzere bir veri tabanı oluşturulmuştur. Verilerin ArcGIS ortamına aktarılabilmesi için öncelikle temel coğrafi veri (harita) altlıkları oluşturulmuştur. Burada; Erzincan il merkezine 2019 yerel seçimleriyle bağlanan beldeler ve merkezde yer alan mevcut mahalle sınırları yer almaktadır. Veriler mevcut koordinat sistemine uygun olarak sayısallaştırılmış ve ArcGIS (ver 10.4.1) programına aktarılmıştır. Kurumlardan temin edilen veriler, Microsoft Excel programı kullanılarak ihtiyaç olmayan bilgilerden arındırılmış veri tabanında kullanılabilir şekilde düzenlenmiştir. Analizlerde kullanılmak üzere; çağrıların alındığı mahallelerde meydana gelen 112 acil çağrılarına ait vaka türleri (medikal, sağlık tedbirleri, trafik kazası, vb.), çağrı saatleri, hareket ve varış saatleri, çağrı sayıları, çağrıyı alan istasyon numaraları gibi bilgileri içeren Excel tabloları oluşturulmuştur. Çalışmada kullanılan vakalar mahalle bazlı düzenlenmiştir.

Düzenlenen veriler kullanılarak buffer (tampon) ve intersect analizi ile sınırlar değerlendirilmiştir. CBS 'de kullanılan Buffer analizleri; bir nokta, poligon veya çizgi şeklindeki veri etrafında istenilen büyüklükte bir bölgenin oluşturulmasıdır. Buffer alanının oluşturulması genellikle çeşitli özelliklerin etki alanlarının belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Buffer belirlenen bir yarı çap büyüklüğündeki tek bir daire veya farklı uzaklıktaki mesafe aralıkları içeren ve peş peşe dizilen birden çok daireler şeklinde

olabilmektedir. Buffer alanlarını belirlemek, bu alanlar içinde yapılması planlanan hizmetlerdeki yanlış kullanımları tespit etmek, yeni yapılması düşünülen bir uygulamada doğru yer seçimine karar verme mekanizmalarını oluşturmak ve yol göstermek için kullanılabilir [15].

Analizde kullanılan tampon bölgelerin, çalışma alanı genelindeki öz nitelik verilerinden ne kadarını kapsadığını bulabilmek için ArcGIS programında yer alan ArcToolbox içindeki “intersect” analizi kullanılmaktadır. Örneğin; çalışma yapılan ildeki bir istasyona ait hizmet alanının (buffer alanının), gelen toplam acil çağrılarının ne kadarlık kısmını kapsadığını bulabilmek için kullanılır.

Buffer analizi amaç için yapıldığında, ortaya çıkan tampon bölgeye “hizmet alanı” denilmektedir. Bu nedenle araştırmada Acil Sağlık Hizmetleri İstasyonları (ASHİ) için oluşturulan tampon bölgeler, dolayısıyla bu istasyonların hizmet alanlarını olacaktır. Hizmet alanlarını sınırlarını belirlemek için bu istasyonlara ait noktasal veriler, ulaşım süreleri ve hız verilerini kullanarak yarıçap büyüklüklerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Cromley ve Wei [16] tarafından yapılan çalışmaya göre, acil vakalara giden ambulanslar için azami hız 32 km/s ve 96 km/s arasında değişkenlik gösterdiği görülürken, ülkemizde yapılan benzer çalışmalarda ambulansların ortalama 50 km/s hızla olay yerine hareket ettikleri görülmüştür [17]. Diğer taraftan yapılan çalışmalarda vakaya ulaşım için gerekli ideal süresinin belirlenmesi konusunda da çok sayıda farklı yaklaşım bulunmaktadır. Temelde bir kalp krizi vakası ya da solunum yolu hastalıklarının tedavisi için müdahalenin ilk 10 dakikanın içinde yapılması çok büyük önem taşıdığı farklı ülkelerde yapılan araştırmalarda da görülmektedir [18]. Bu sürenin ilk 2-4 dakikalık kısmı çağrının alınıp, ambulans ekiplerinin istasyondan çıkması için hazırlıkla geçen süre, kalan 6-8 dakikalık süre ise “ulaşım süresi” olarak kabul edilmektedir [16].

Bu çalışmada da literatürde bulunan araştırmalar dikkate alınarak vakaya giden araçların hız müdahale süreleri belirlenmiştir. Bu doğrultuda Erzincan il merkezi dikkate alınarak, aynı gün içinde farklı saatlerdeki değişken trafik yoğunlukları, trafik ışıkları, yol yapılarının asfalt ya da stabilize olma durumu, sürücülerin ambulans araçlarına yol verme konusundaki tutumları, yol genişliklerinin yetersizliği veya yolların anayol-tali yol olması gibi birçok faktörler göz önünde bulundurulduğunda ambulanslar için yerleşim yeri dahilindeki azami hızları 50 km/s olarak kabul edilmiştir. Bu çalışma için acil sağlık hizmetinde ideal müdahale süresinin 10 dakikanın altında olması gerektiği ve alınan veriler dahilinde bunun ortalama 2 dakikasının, çağrının cevaplanıp ekibin yola çıkma süresi olduğu hesaplanmıştır. 112 acil çağrılarında 6 ve 10 dk. 'lık hizmet alanları için, 4 ve 8 dk. olarak ulaşım süreleri hesaplanmış, bu doğrultuda buffer (tampon) analizleri yapılmıştır.

ASH İstasyonlarının 6 ve 10 dk.'lık hizmet alanlarını belirlemede kullanılacak olan Buffer analizlerinde yarıçaplar ambulanslar için ((r1: ortalama hızı 50 km/h olan ambulansın 4 dk. içinde gideceği mesafe), (r2: ortalama hızı 50 km/h olan ambulansın 8 dk. içinde gideceği mesafe)) doğru orantıyla hesaplanmıştır. Sonuç olarak analizlerde r1:3,3 km ve r2:6,6 km olarak belirlenmiştir.

2.4.2.Zaman Serileri

Zaman serisi, ölçümlerden elde edilen serinin zaman içindeki hareketini gözlemler [19]. Zaman serisi analizlerinin yapılması için çeşitli varsayımlar bulunmaktadır. Zaman serisinin normal dağılım gösteriyor olması ve serinin durağan olması en önemli varsayımlardandır. Zaman serilerinin analizi için serinin durağan bir seri olması yani eğilimden arındırılması gerekmektedir. Bir serinin durağan olmasını sağlamak sahte regresyonu önlemektedir. Böylece durağan bir seri ile gelecek tahmini yaparken elde edilen modellerin istatistiksel olarak anlamlı olması sağlanmaktadır [20]. Zaman serisi analizinde önemli iki fonksiyon mevcuttur. Bunlar, otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyonlarıdır. Bu çalışmada, 112 acil çağrılarının talebini tahmin etmek için Box-Jenkins yöntemi (ARIMA modeli) kullanılmıştır. Bunun için AR, MA ve ARIMA modelleri açıklanmıştır

Otoregresif (AR(p)) sürecinde, bağımlı değişken geçmişteki değerinin ve hata terimlerinin bir fonksiyonudur. Bu tip sürece AR(p) süreci denilmektedir. AR modelinin derecesi yani otoregresif terim sayısı p olarak isimlendirilir. Burada p'nin değerini belirlemek için değişkenin korelogramına veya minimum AIC ve SC değerlerine bakmak gerekmektedir. Basit bir AR(p) süreci grafiksel olarak analiz

edilmek istenirse ACF grafiğinin ağır ağır azalması, PACF grafiğinde ise ilk gecikmede ani bir azalma söz konusu ise AR(p) sürecinden bahsedilebilir.

Hareketli ortalama (MA) süreci, serinin gecikmeli hata terimi, şimdiki hata terimini etkilediğinde ortaya çıkmaktadır. Bir hareketli ortalama sürecinde değişkenin tahmin değeri hata terimlerinin tahmin değeri ile ilişkilidir. MA(q) şeklinde ifade edilir. MA modelin derecesi yani hareketli ortalama terim sayısı q olarak isimlendirilir.

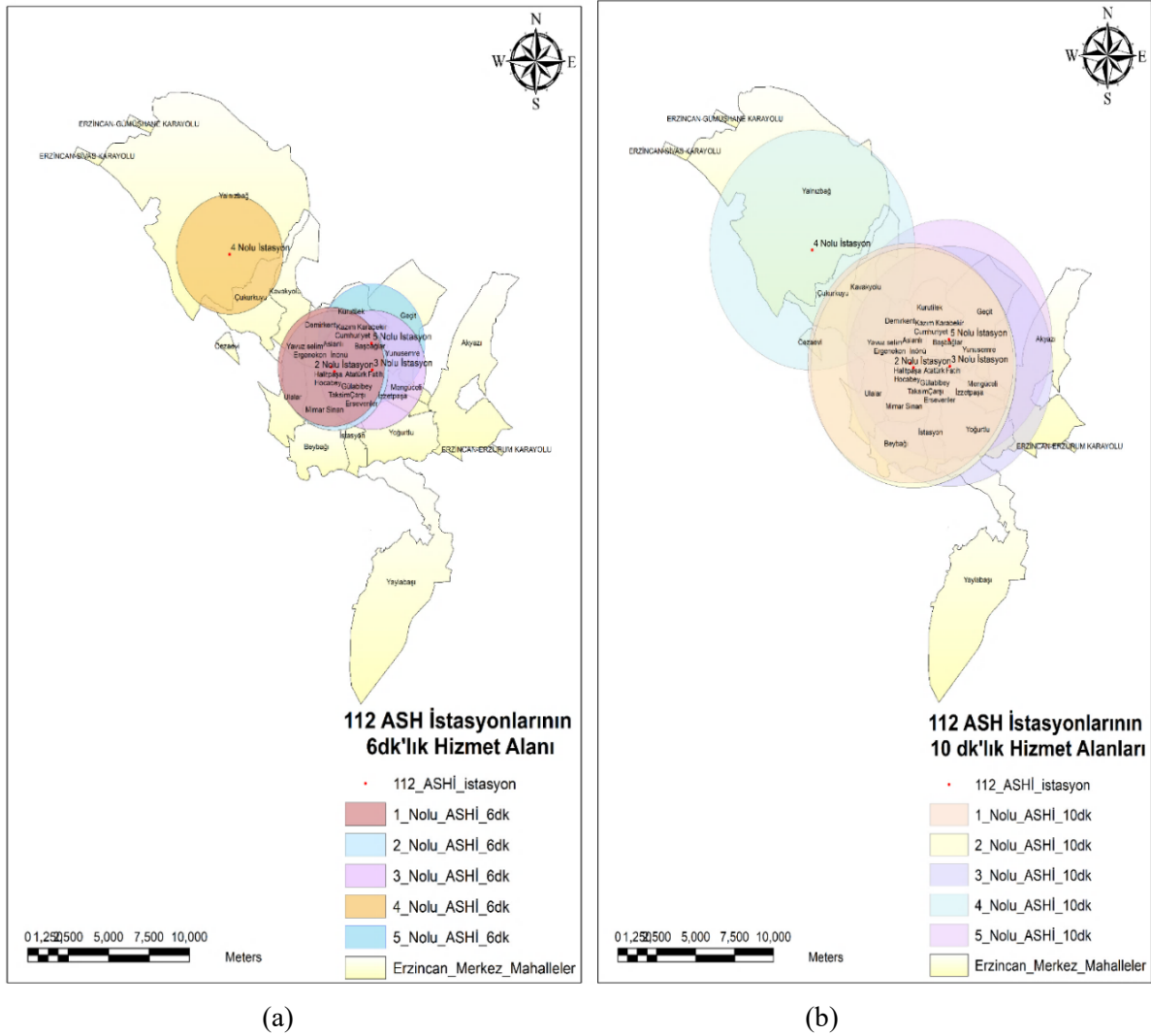
Otoregresif bütünleşik hareketli ortalama (ARIMA(p,d,q)) süreci Box-Jenkins yöntemi, zaman serileri analizinde kullanılan en yaygın yöntemdir. Söz konusu yöntemin varsayımlarından biri serinin durağan olmasıdır. Fakat birçok serinin ortalama ve varyansında zamana bağlı olarak değişim olmakta ve seri durağan dışı hareket etmektedir. Bu nedenle söz konusu serinin farkı alınarak durağan hale getirilmektedir. Durağan olmayıp belirli sayıda farkı alınarak durağan hale getirilen serilere uygulanan AR ve MA modellerinin birleşimi ARIMA modellerini oluşturmaktadır. AR (p), MA(q) ve serinin fark alma derecesi d olan model, (p, d, q) dereceden "otoregresif bütünleşik hareketli ortalama modeli" olarak adlandırılır ve ARIMA (p, d, q) ile gösterilir [21]. Durağan olmayan seriler ile çalışıldığından d fark alma derecesi olarak kullanılmaktadır. Serinin birinci farkı alınıp durağan hale geliyorsa d'nin derecesi 1, durağan hale gelmiyorsa ikinci farkı alınıp d'nin derecesi 2 olarak belirlenir. Böylece seri d dereceden durağan hale geliyorsa I(d) olur [22]. d kadar fark alınıp durağan hale gelen seri, d. dereceden fark serisi olarak adlandırılır. AR ve MA süreçlerinde ACF ve PACF korelogramlarına bakılarak model derecesi belirlenebiliyorken, ARIMA modellerinde söz konusu iki grafiğin geometrik olarak birlikte azalıyor olması gözlemlenebilir. Eğer seri fark almadan durağan halde ise süreç ARMA (p, q) ile modellenilebilir.

2.4.3. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları (YSA), doğrusal ilişki olmayan değişkenlerin modellenmesinde kullanılmakta ve iyi sonuçlar vermektedir [20]. YSA, insan beynindeki bilgi işleme tekniği düşünülerek geliştirilen bilgi işlem teknolojisidir. YSA biyolojik sinir sisteminin çalışma prensiplerini taklit edilir. Yani biyolojik hücrelerin birbirleri ile kurduğu sinaptik bağın dijital olarak modellenmesidir diyebiliriz. YSA uygulaması için Matlab2008 yazılımı kullanılarak bir program kodu yazılmıştır. Bu program kodu transfer fonksiyonları (tansig-purelin-logsig), eğitim fonksiyonları (trainbr-trainlm) ve gizli tabakadaki nöron sayısı (1,2,3,4...n) arasında döngü yapabilen bir yazılım olarak geliştirilmiştir. Yazılımın diğer özelliği ise ağıın performans belirleme kistası olarak ortalama karesel hatayı (OKH) alması, iterasyon sayısını isteğe bağlı olarak değiştirebilmesi ve ağıın eğitiminin istenilen hassasiyette sonlandırabilmesidir [23].

3. Bulgular ve Tartışma

Sağlık bakanlığı verilerine göre, genel olarak 112 acil çağrularına yapılacak müdahalenin ilk 10 dakikalık sürede yapılmasının, özellikle kardiyovasküler rahatsızlıklarda ise ilk 6 dakikanın hayati önem taşıdığı belirtilmiştir [24]. Bu çalışmada Erzincan 112 ASH Başhekimliği 'nden temin edilen veriler doğrultusunda 6 ve 10 dk.'lık hizmet alanları incelenmektedir. Erzincan il merkezinde bulunan ASH istasyonlarına ait 6 ve 10 dk.'lık hizmet alanlarına ait haritalar Şekil 2'de gösterilmiştir.

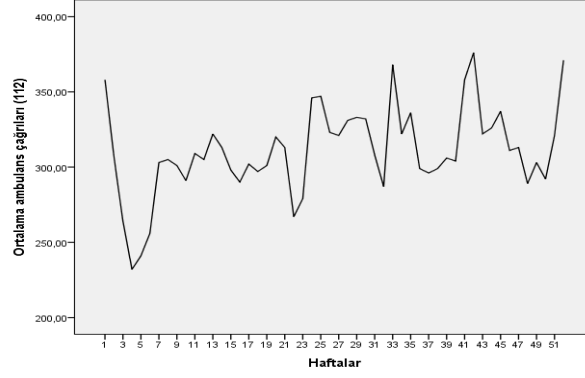


Şekil 2. Erzurum merkez ASH istasyonlarının (a) 6 dk.'lık ve (b) 10 dk.'lık hizmet alanları

Erzurum merkez 112 ASH istasyonlarının belirlenen yarıçaplardaki hizmet alanları, buffer analizi kullanılarak değerlendirilmiş, istasyonların 6 dk.'lık hizmet alanları incelendiğinde ise Akyazı ve Yaylabası'nın tamamı, Beybağı ve İstasyon mahalleleri ile merkez mahalle Yalnızbağ, Çukurkuyu, Kavakyolu, Geçit ve Yoğurtlu belde sınırlarının büyük ölçüde istasyon hizmet alanları dışında kaldığı görülmüştür. Bu mahalleler dışında kalan Erzurum Cezaevi Kampüsü, Erzurum-Sivas, Erzurum-Gümüşhane ve Erzurum-Erzurum karayollarının da tamamının istasyonların hizmet alanları dışında kaldığı görülmüştür.

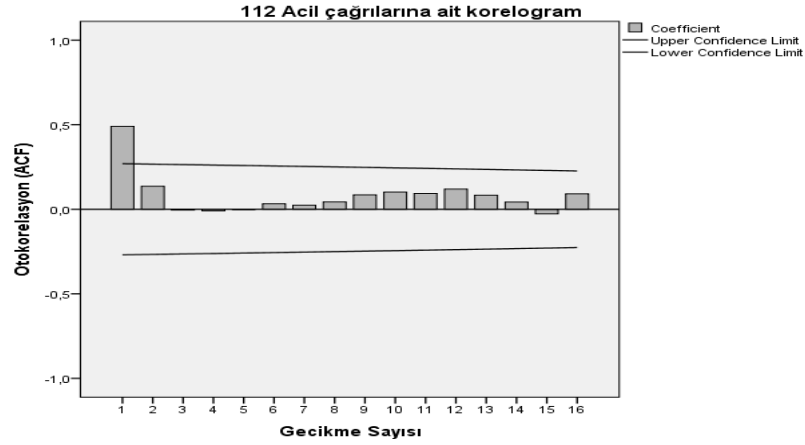
Aynı mahalle haritası üzerine yerleştirilen 10 dk.'lık buffer incelendiğinde ise sadece Erzurum-Sivas, Erzurum-Gümüşhane ve Erzurum-Erzurum karayollarının hizmet alanı dışında kaldığı, bu alanların dışında kalan yerlerin tamamının hizmet alanı içinde kaldığı görülmüştür. Yalnız Akyazı'nın doğu Yalnızbağ'ın kuzey, ve Yaylabası'nın güney bölümlerinin hizmet alanı dışında kaldığı tespit edilmiştir. Buna karşın Yalnızbağ ve Akyazı bölgelerinde hizmet alanı dışında kalan alanlarda yerleşim yerlerinden ziyade tarım arazileri bulunduğu tespit edilmiştir.

3.1. 112 Acil Çağrılarına Ait Zaman Serileri ve Yapay Sınır Ağları

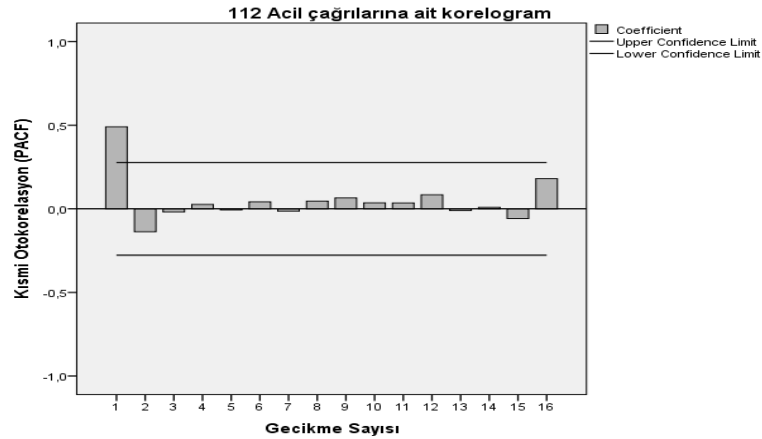


Şekil 3. Haftalık Ambulans çağrılarının zaman serisi grafiği

Zaman serisi grafiği incelendiğinde bazı haftalarda ambulans çağrılarının minimum, bazı haftalarda ise maksimum düzeye ulaştığı görülmektedir. Bu durumun bir ay aralıkla tekrarlanması ise dikkat çekmektedir. Bu durumda belirli aralıklarla acil çağrılarında yoğunluk yaşandığı söylenebilir ve mevsimsel dalgalanma olup olmadığı Kruskal-Wallis testi ile test edilmiştir. $KW=2,448 < \chi^2=9,347$ yokluk hipotezi kabul edilerek seride önemli bir mevsimsellik olmadığı anlaşılmıştır. Bu dalgalanmayı daha net anlayabilmek ve durağanlığı tespit etmek için otokorelasyon (ACF) ve kısmi otokorelasyon (PACF) grafiklerine bakılmıştır.

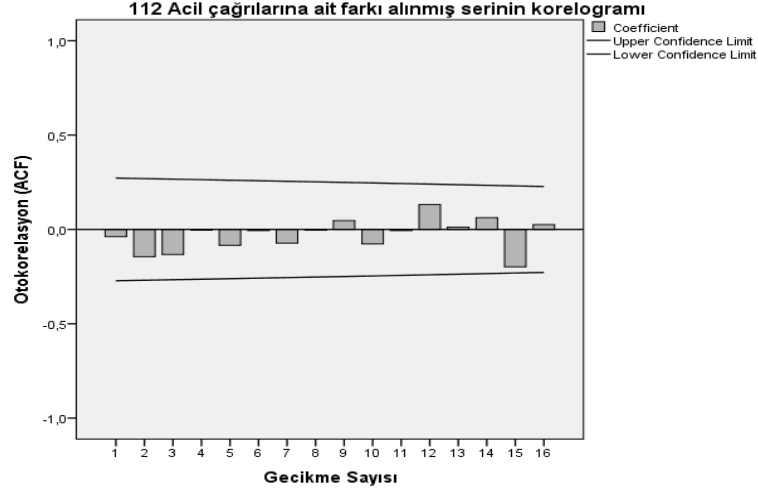


Şekil 4. Ambulans çağrıları otokorelasyon grafiği

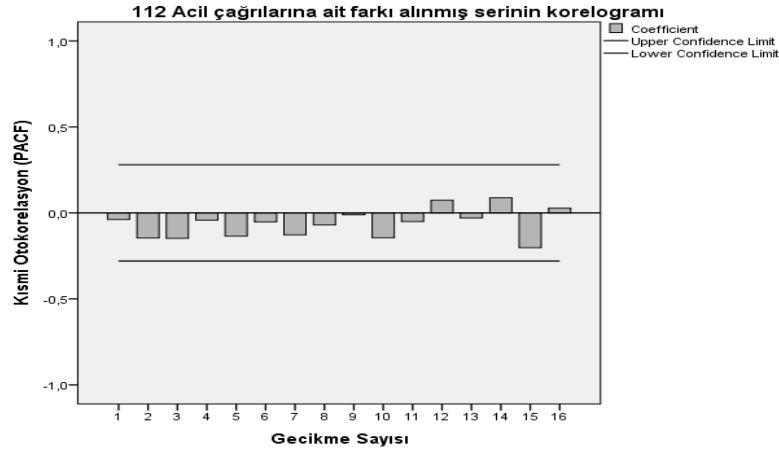


Şekil 5. Ambulans çağrıları kısmi otokorelasyon grafiği

Ambulans acil çağrılarında ait ACF ve PACF korelogramlarına bakıldığında ilk gecikmenin güven otokorelasyon olduğu gözlemlendiğinden Birim Kök testlerinden Dickey-Fuller testi uygulanmıştır. $TT=-3,61$ bulunmuş olup, ϕ_1 , ϕ_2 , değerleri tablo değerleri ile karşılaştırılmış, seride birim kökün varlığı hipotezi kabul edilmiştir



Şekil 6. Ambulans çağrılarında ait farkı alınmış serinin otokorelasyon grafiği



Şekil 7. Ambulans çağrılarında ait farkı alınmış serinin kısmi otokorelasyon grafiği

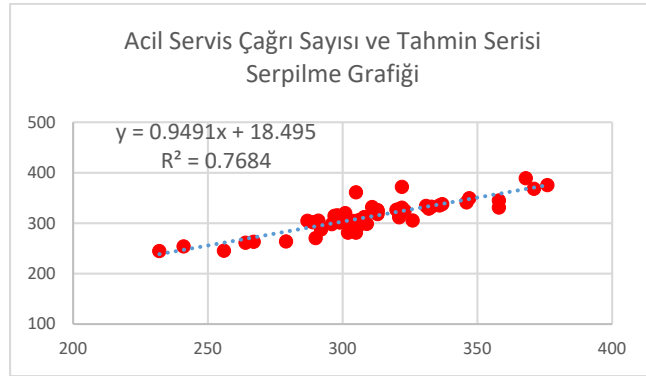
Otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon grafikleri incelendiğinde serinin durağan olduğu görülmektedir. Bu grafiklere ait en uygun model ise ARIMA (1,1,1) olarak kabul edilmiştir. Bu durumda ARIMA modeline ait $d=1$ olarak belirlenmiştir. MA modeline ait anlamlı bir parametre bulunmadığından $q=0$ olarak alınmıştır. AR modelinin parametre değerlerinin tahmini için yapılan analiz sonuçları ise Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. ARIMA (1,1,1) modeli parametre tahmini analiz sonuçları

Parametre	Katsayı	St. Hata	t-İst.	P
Sabit	0,012	0,118	1,301	,0384
AR (1)	1,227	0,567	0,514	0,001
MA(1)	0,466	1,526	0,305	0,047

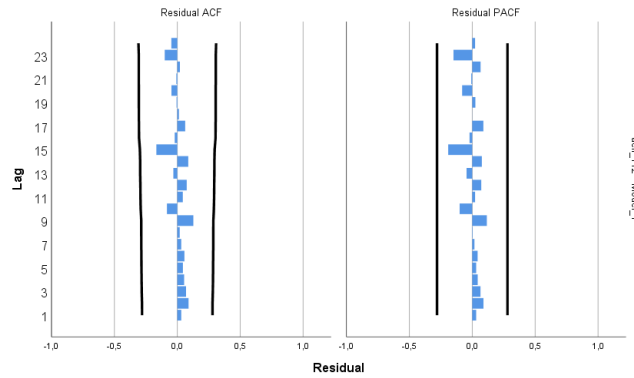
Tablo 1'de görüldüğü üzere ARIMA (1,1,1) modelinin parametre tahminleri anlamlı bulunmuştur ($p<0.01$). Model belirlenirken birden fazla model incelenmiş olup, AIC (Akaike Bilgi Kriteri), Ortalama karesel hata (OKH) ve belirlilik katsayısı (R^2) bakılmıştır. Bu üç kritere göre AIC değeri minimum olan

(-4,346), OKH en küçük olan (0,003), ve R²'si en büyük olan (0,77) model ARIMA (1,1,1) modeli en uygun model olarak kabul edilmiştir.



Şekil 8. ARIMA (1,1,1) modelinin tahmin serisi

Hata terimlerine ait korelogramlar ise Şekil 9'da verilmiştir



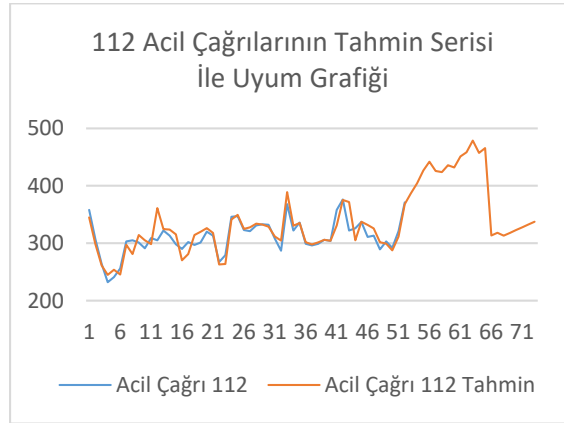
Şekil 9. ARIMA(1,1,1) modelinin hata terimlerine ait otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon grafiği.

Modelin uygunluğunun tespit edilmesi için hata terimlerinin otokorelasyon değerlerinden faydalanılarak Box-Ljung testi de yapılmış ve Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. ARIMA (1,1,1) Modeli İçin İstatiksel Uygunluk Tablosu

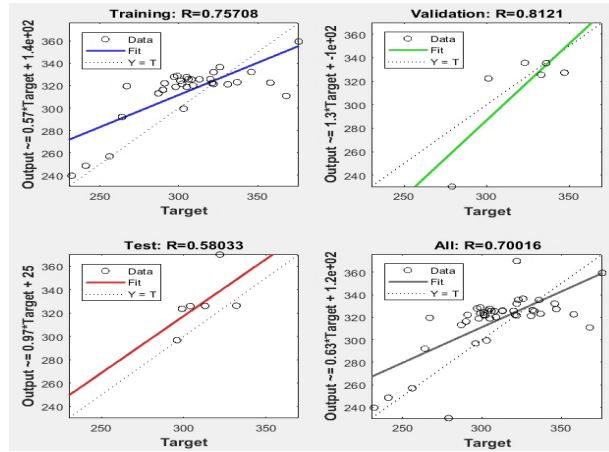
Model istatistiği						
Model	Tahminci Sayısı	Model Uygunluk İstatistiği R ²	Ljung-Kutusu İstatistik Q(18)	Sd	Aykırı Değerlerin Sayısı p	
Acil 112-Model-1	0	0,77	20,913	17	0,230	0

Tablo 2'de görüldüğü gibi hata terimlerinin bağımsız olduğu sıfır hipotezi kabul edilmiş ve modelin uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır ($p > 0,05$; $Q_{17} = 20,913$). Tespit edilen modelin açıklayıcılığının ise $R^2 = 0,77$ olduğu görülmüştür. Tahmin edilen ve gözlemlenen serinin uyum grafiği ise Şekil 10'da sunulmuştur.



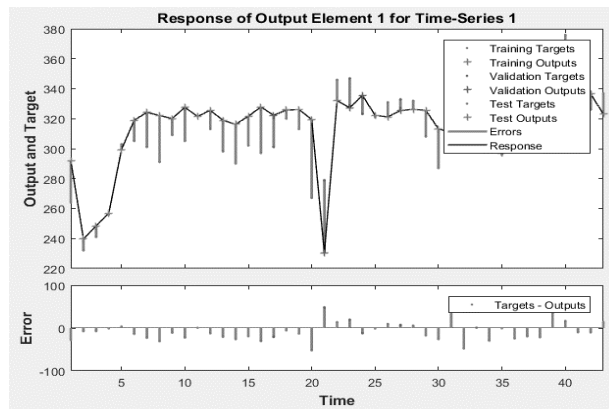
Şekil 10. Ambulans verilerine ait gözlemlenen-tahmin serisi uyum grafiği ve gelecek tahmini

Şekil 10'de verilen tahmin grafiğine göre seri 1 gözlemlenen veri grafiğini, seri 2 ise elde edilen modelin tahmin grafiğini göstermektedir.



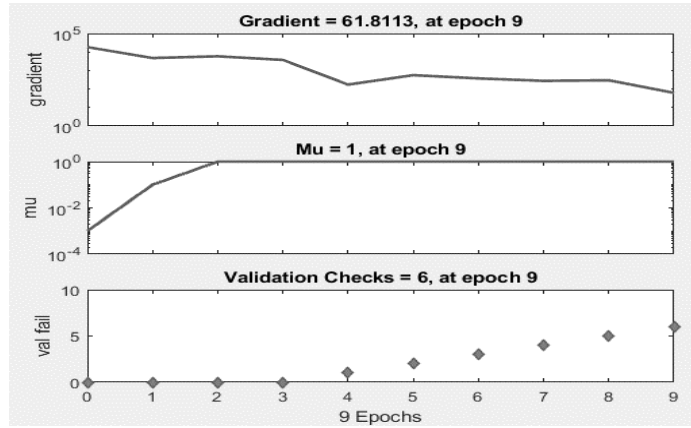
Şekil 11. Ambulans verilerine ait yapay sinir ağları modeli

Zaman serileri analizinde (ZSA) model ARIMA(1,1,1) değerlendirilmiş olup, Yapay Sinir ağları (YSA) ile de aynı model çalışılmış ve iki farklı yöntem karşılaştırılmıştır. YSA'nın ZSA'den istatistiksel olarak daha anlamlı olduğu görülmüştür. YSA yönteminde model incelendiğinde eğitim setinde $R^2 = 0,76$ olduğu modelin tamamında ise $R^2 = 0,70$ olduğu bulunmuştur. Bu durumda YSA yönteminin ZSA klasik yöntemle göre daha başarılı olduğu anlaşılmıştır.



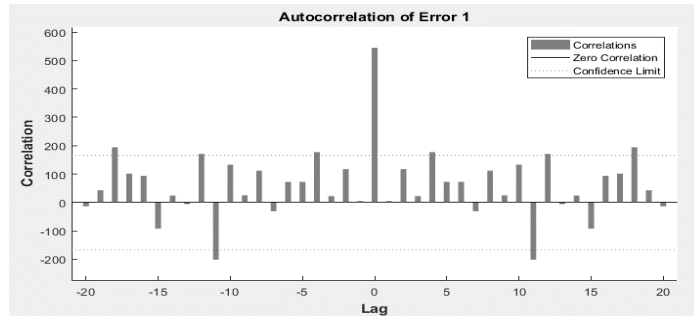
Şekil 12. Ambulans verilerine ait YSA Regresyon performans grafiği

Şekil 12’de YSA Regresyon performans grafiğine bakıldığında, Response Plot grafiğinde yatay ekseninde Time değişkeni, dikeyde de Target değişkeni yer almaktadır. 20-25. Haftalardaki ters yöndeki pik dikkat çekmektedir.



Şekil 13. Ambulans verilerine ait training state eğitim istatistikleri

Şekil 13’teki Training State eğitim istatistikleri irdelendiğinde, Gradient logaritmik ölçekte her bir iterasyon için birer geri yayılım değeri olduğu görülmektedir. 61.8113 değeri hedef fonksiyonun yerel minimum alt noktasına ulaştığı göstermektedir.



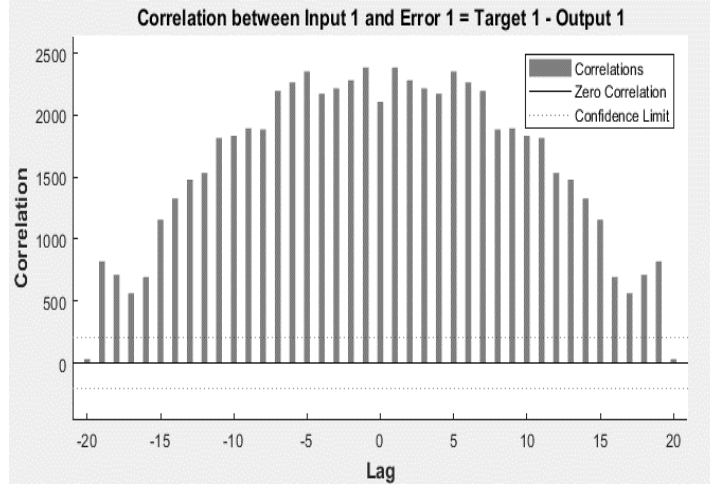
Şekil 14. Ambulans verilerine ait en küçük kareler model hataları

Şekil 14 incelendiğinde en küçük kareler model hatalarının otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon katsayılarının grafiklerinde modele ait hataların otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon katsayıları serilerin durağan olmadığını ve kısmi otokorelasyon katsayılarından ilkinin anlamlı olması AR(1) modelinin geçerli olduğunu göstermektedir.



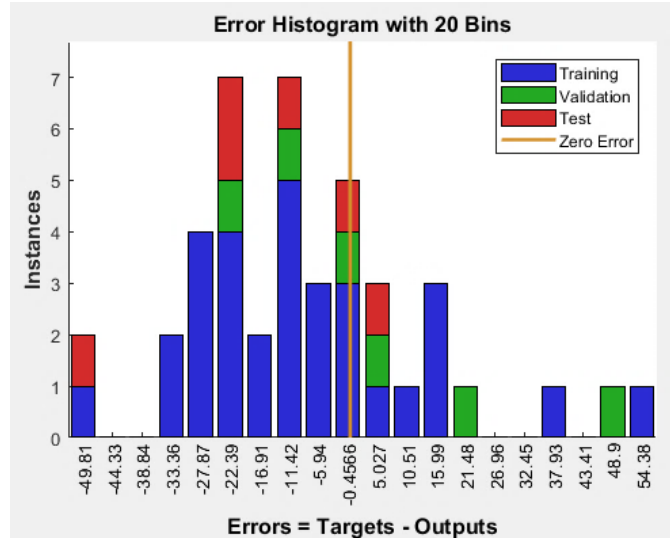
Şekil 15. Ambulans verilerine ait devir performansı grafiği

Şekil 15’de devir performansı grafiği gösterilmektedir. OKH ve iterasyon sayıları verilmiş olan bu grafikte performans ölçütü olarak H.K.O. kullanılmıştır. Model; 0,0003’lük değerle en küçük H.K.O. ya sahiptir.



Şekil 16. Ambulans verilerine ait korelasyon grafiği

Şekil 16’da korelasyon grafiğine bakıldığında histogram şekli normal dağılıma uygun bir dağılım gösterdiği görülmüştür.



Şekil 17. Ambulans verilerine ait ağ performansı

Ağ performansı incelendiğinde hata histogramında mavi kısımlar eğitim serisini, yeşil alanlar geçerliliği, kırmızı kısımlar da tahmin serisini ifade etmektedir. Histogram incelendiğinde uyumsuz değerler hakkında fikir verebilir. Grafik incelendiğinde hataların çoğunun $-49,81$ ile $5,027$ aralığına düştüğünü görebiliriz. Uyumsuz değerlerin varlığı regresyon grafiğinden daha rahat incelenebilir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmadaki 16,168 adet 112 ASH çağrıları için vakaya ulaşım süreleri incelendiğinde; gelen çağrının cevaplanması ve ambulansın yola çıkması arasındaki hazırlık süresi ortalama 2dk. olarak hesaplanmıştır. Ambulans yola çıkıp ilk 10dk. içerisinde olay yerine ulaşma oranı bütün istasyonlarda ilk sırada yer almaktadır. Gelen çağrılar, istasyonların kendi aralarında incelendiğinde ise bütün istasyonlarda %68,99'un üzerindeki bir oranda ilk 10dk. içinde vakaya müdahale edilebildiği görülmüştür. Bu konuyla ilgili yapılan değerlendirmeler sonucunda yaralanma ve kazalarda meydana gelen ölümlerin %10,0'unun ilk 3-5 dakikalık sürede, %54,0-60,0'nun ilk 30 dakikalık süre içerisinde gerçekleştiği görülmüştür [25]. Bu nedenle T.C. Sağlık Bakanlığı tarafından şehir merkezlerinde sunulan ASH 'de müdahale edilen vakaların en az %90'nına ilk 10dk. içerisinde ulaşılması gerektiği önerilmektedir. Türkiye içinde yapılan benzer çalışmalar gösteriyor ki [26] İstanbul'da 112 Acil çağrılarının %68,3'üne 10 dakikanın altında ulaştığı, Zenginol vd. [27] tarafından yapılan çalışmalarda ise Gaziantep'te 2006-2008 yılları arasında ilk 10 dakikada vakaya ulaşım oranının %73,7-%79,9 arasında olduğu görülmüştür. Sağlık Bakanlığı tarafından 2008 yılında hazırlanan verilerine göre vakaya ulaşma süresi ilk 10dk. içinde olan çağrıların oranı İzmir'de %83,8 ve Ankara'da %50,0 iken [28]; bu çalışmada ise Erzincan merkezinde 112 acil çağrıları için 10dk. ve altında vakaya ulaşım süresi %78,45 olduğu tespit edilmiştir. Bu oran acil müdahalelerde ilk 10 dakikanın önemi düşünüldüğünde kabul edilebilir düzeydedir.

Erzincan merkezinin 112 istasyonlarına ait hizmet alanlarının kapsadığı bölgeler buffer analizine göre incelendiğinde ise, 6 dk. 'lık hizmet alanları, toplam çağrıların mahallelere göre dağılımında yaklaşık %79'unu kapsadığı hesaplanmıştır. Bu oran 10 dk. 'lık hizmet alanında incelendiğinde ise %93'e çıkmaktadır. Buna karşın ASH istasyonundan alınan çağrılara bakıldığında ilk 10 dk. içerisinde vakaya ulaşılabilirliğin %78,45 olduğu görülmektedir. Böyle bir farkın ortaya çıkmasında çağrıların yapıldığı mevsimsel değişimler, olumlu yada olumsuz iklim koşulları, trafikteki yoğunluk değişimleri, istasyon sayıları, yeterli ambulans bulunmaması ve acil müdahalelerde bulunacak sağlık ekiplerinin yeterli sayıda olmaması, özellikle Erzincan merkez mahallelerdeki yollar incelendiğinde yolların dar olması, otopark sıkıntısı nedeniyle yol kenarına ve özellikle bina girişlerine park edilen araçların yoğun olması gibi durumlara bağlı olabileceği düşünülmektedir.

6 dakikada ulaşılabilirliğin %79, 10 dakikada ulaşılabilirliğin %93 olmasına rağmen yapılan buffer analizlerinde özellikle 6 dakikalık hizmet alanı sınırlarına bakıldığında; bazı bölgelerin hizmet alanı dışında kaldığı (Akyazı, Yaylabaşı,...) bazı bölgelerde ise istasyon hizmet alanlarının kesiştiği (Atatürk, Gülabibey,...) dikkat çekmektedir. Hizmet alanlarına göre istasyonların belirlenmesinin yanında istasyon ve ambulans başına düşen kişi sayısı da yeni bir istasyon kurulması için dikkate alınması ve birlikte değerlendirilmesi gereken kriterlerdir.

İstasyon-ambulans sayılarının ve kapsama alanlarının kabul edilebilir düzeyde olmasına rağmen, istasyon yerlerinin birbirlerine çok yakın olduğu ve dağılımlarının dengeli olmadığı belirlenmiştir. Bu durum hizmet alanlarının kesişmesine neden olurken; bazı bölgelerin de hizmet alanı dışında kaldığı görülmektedir. Benzer sonuç Erkal ve Değerliyurt [8] tarafından Eskişehir ilinde, Yağcı vd. [11] tarafından Konya ilinde gerçekleştirilen çalışmalarda da bulunmuştur. Şehirlerin değişen dinamiklere sahip olması, acil durum istasyonlarının zamanla konumsal analizlerinin yenilenmesini gerektirmektedir.

Ambulans çağrılarına ait zaman serisi grafiğine göre bazı haftalarda çağrıların minimum, bazı haftalarda ise maksimum düzeye ulaştığı görülmektedir. Bu durumun bir ay aralıkla tekrarlanması ise dikkat çekmektedir. Yapılan analizde verilerin durağan olmadığı görülmüş ve fark serisi alınarak model kurulmuştur. Sonuç olarak zaman serisi modelinin ARIMA (1,1,1) olduğu ve Box-Ljung testi sonuçlarına göre uygun bir model elde edildiği sonucuna ulaşılmıştır ($p > 0,05$; $Q_{17} = 20,913$). Tahmin edilen modelin açıklayıcılığının ise $R^2 = 0.77$ olduğu görülmüştür. Zaman serileri analizinde tahmin edilen model ARIMA(1,1,1) Yapay Sinir ağları ile de değerlendirilmiş ve iki farklı yöntem karşılaştırılmıştır. YSA yöntemine göre model irdelendiğinde eğitim setinde $R^2 = 0.76$ olduğu modelin tamamında ise $R^2 = 0.70$ olduğu bulunmuştur.

Bu durumda YSA yönteminin OKH değeri ve AIC değeri (-15,1537), ZSA klasik yönteminde bulunan değerlere göre daha anlamlı olduğu anlaşılmıştır.

Bu sonuçlardan hareketle YSA yöntemine göre ambulans çağrılarında gelecekte bir artış gözlemlenebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Bu duruma, şehir yapısının dinamik olmasının, gelişmeye açık olmasının ve nüfusta bir artış meydana gelmesinin sebep olabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle mevcut durumda yeni istasyonların kurulmasına azami bir gereklilik görülmesi de gelecek zamanda gerekli hale geleceği ön görülmektedir. Bu çalışmada coğrafi bilgi sistemleri ile tespit edilen istasyon yerlerinin söz konusu gereksinimi karşılayacağı düşünülmektedir.

5. Öneriler

T.C. Sağlık Bakanlığı bünyesinde kurulmuş ve en önemli amacı gelen çağrılardaki acil vakalara olabilecek en hızlı ve doğru şekilde ulaşabilmek olan 112 ASH istasyonlarının, doğru yerlere konumlandırılmış olması ve ilgili yönetmeliklere göre her istasyon için maksimum 50 bin kişilik bir bölgeye hizmet vermesi ön görülmektedir. Bu çalışmada istasyonların mevcut yerleşim yerlerinin doğruluğu irdelendiğinde, elde edilen verilere göre Erzincan ASH istasyonlarından 1 ve 2 nolu ASH istasyonunun yerleşim yerlerinin birbirine çok yakın olduğu ve hizmet alanlarının kesiştiği sonucuna varılmıştır. 1 nolu istasyonun komuta kontrol merkezi olması nedeniyle yerinin değiştirilemeyeceği dikkate alınarak 2 nolu istasyonun yerinin değiştirilebileceği düşünülmektedir. Bu istasyonun Kavakyolu ve Çukurkuyu arasındaki uygun bir noktaya kurulması, yine hizmet alanı dışında kalan Yoğurtlu bölgesine ise gezici ambulans tahsis edilmesi önerilmektedir. 2 nolu istasyonun yerinin değiştirilmesi hem maliyetinin yüksek olması hem de personel sayısındaki yetersizliklerinden kaynaklı sıkıntıların daha da artabileceği düşünüldüğünde, mevcut istasyonlardaki eksikliklerin giderilip, farklı ve yeni ASH istasyonları kuruluncaya kadar, mevcut istasyonların iyileştirilmesinin daha uygun olacağı kanısına varılmıştır. Ancak çalışmada elde edilen gelecek tahminlerine göre nüfus ve çağrı miktarındaki artış dikkate alındığında analizlerin yakın zamanda tekrar edilmesi önerilmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] N. Coşkun, Acil servis sistemlerinde yerleşim problemine analitik ve genetik programlama yaklaşımları. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Türkiye, 2007.
- [2] E. Baloyi, H. Mokgalaka, C. Green, and G. Mans, Evaluating public ambulance service levels by applying a GIS based accessibility analysis approach. *South African Journal of Geomatics*, 6(2), 172-183, 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.4314/sajg.v6i2.3>
- [3] H. Selim ve İ. Özkarahan, Acil servis araçları yerleşiminin belirlenmesinde yeni bir model. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 14 (1), 18-27, 2003.
- [4] Y. E. Öztürk, H. Öncel ve E. Ördek, Konya-Selçuklu ilçesinde 112 acil servis istasyonları yerleşim modeli. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 1(1), 19-32, 2013.
- [5] K. K. Sakaklı, Yerel acil müdahale fonksiyonlarının yer seçiminin coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak ölçme ve değerlendirilmesi; Ankara örneği. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2006.
- [6] R. S. Sarhan, B. T. Shabana and H. M. El-Bakry, Design of an efficient integrated system for ambulance management. *International Journal of Electronics Communication and Computer Engineering*, 6(4), 2278–4209, 2015.
- [7] B. Çatay, A. Başar ve T. Ünlüyurt, İstanbul'da acil yardım istasyonlarının yerlerinin planlanması. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 19(4), 20-35, 2009.
- [8] T. Erkal ve M. Değerliyurt, Eskişehir'de acil durum yönetiminde ağ (network) analizlerinin kullanılması. *Türk Coğrafya Dergisi*, 61, 11-20, 2013.
- [9] M. Swalehe, Dynamic ambulance deployment to reduce ambulance response times using geographic information systems: a case study of Odunpazarı district of Eskişehir province, republic of Turkey. Unpublished Master Thesis, Anadolu University, Eskişehir, Turkey, 2016.
- [10] S. Ateş, M. Z. Coşkun ve A. Ç. Aydınoglu, Coğrafi bilgi sistemleri ile en uygun ambulans yerlerinin belirlenmesi. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, Türkiye, 2011.

- [11] C. Yağcı, S. Durduran, F. Kıyak ve H. Özer, 112 acil istasyon merkezlerinin coğrafi bilgi sistemiyle belirlenerek, yol güzergâhlarının analizi. The World Cadastre Summit, Congress & Exhibition, İstanbul, 2015.
- [12] Erzincan Valiliği. Erzincan ili coğrafi yapısı <http://www.erzincan.gov.tr/cografi-yapisi>, Son erişim tarihi 15 Haziran 2019.
- [13] TÜİK [Türkiye İstatistik Kurumu]. Erzincan ili kilometre kareye düşen nüfus. <https://www.nufusu.com/il/erzincan-nufusu>, Son erişim tarihi 15 Haziran 2019.
- [14] Erzincan Valiliği. 112 Komuta Kontrol Merkezi Yapısı. <http://www.erzincan.gov.tr/5-adet-tam-donanimli-kara-ambulansi-erzincanda-hizmete-girdi>, Son erişim tarihi 25 Mayıs 2019.
- [15] S. Küpçü, ArcGis 9 Uygulama Dökümanı. Sinan Ofset Matbaacılık, Ankara, 2005.
- [16] E.K. Cromley and X. Wei, Locating Facilities for EMS Response to Motor Vehicle Collisions. http://proceedings.esri.com/library/userconf/health01/papers/hc01_p02f/hc01_p02f.html, 2011
- [17] N. Gümüş, G. Gündüzoğlu, Y. Askın, B. Yanılmaz, vd., İzmir anakentinde 112 ambulans istasyonlarının dağılışı ve CBS yöntemiyle hizmet alanlarının sorgulanması. 4. Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilisim Günleri, İstanbul, Türkiye, 2006.
- [18] J. P. Pell, J. M. Sirel, A. K. Marsden, I. Ford and S. M. Cobbe, Effect of reducing ambulance response times on deaths from out of hospital cardiac arrest: cohort study. *Bmj*, 322(7299), 1385-1388, 2001.
- [19] H. Bozkurt, Zaman Serileri Analizi. Ekin Kitapevi, Bursa, 2007.
- [20] H. F. Bayata, Trafik kazalarının çok değişkenli istatistiksel yöntemlerle modellenmesi, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, Türkiye, 2010.
- [21] A. O. Solak, Türkiye'nin toplam petrol talebi ve ulaştırma sektörü petrol talebinin arıma modeli ile tahmin edilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 18(3), 131-142, 2013.
- [22] R. Tari, Ekonometri. Kocaeli Üniversitesi Yayınları, Avcı Ofset, İstanbul, Türkiye, 2008.
- [23] H. F. Bayata ve F. Hattatoğlu, Erzincan ili için farklı yöntemlerle trafik kaza tahmin modellemesi. Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 4(1), 31-46, 2011.
- [24] Sağlık Bakanlığı, 112 istasyonlarının hedefleri. <http://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Asp?MevzuatKod=7.5.4798&MevzuatIliski=0&sourceXmlSearch=acil%20sa%C4%9F1%C4%B1k>, Son erişim tarihi 20 Mayıs 2019.
- [25] N. Demirhan, Acil Tıp Hizmetleri Sisteminde İlk ve Acil Yardım Hizmetleri: Türkiye'de 112 İlk ve Acil Yardım Hizmetleri ve Afetlerdeki Rolü. Acar Matbaacılık, İstanbul, 2003.
- [26] B. Y. Karakuş, E. Çevik, H. Doğan, M. Sam ve A. Kutur, Metropolde 112 acil sağlık hizmeti. İstanbul Tıp Fakültesi Dergisi, 77(3), 37-40, 2014.
- [27] M. Zenginol, B. Al, S. Gen, İ. Devci, P. Yarbil, D. Yılmaz, vd., Gaziantep ili 112 acil ambulanslarının 3 yıllık çalışma sonuçları. Akademik Acil Tıp Dergisi, 10, 27-32, 2011.
- [28] S. Mollahalıoğlu, M. Kosdak ve Z. Eryılmaz, Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı sağlık istatistikleri yıllığı 2008, Hıfzıssıhha Mektebi Müdürlüğü, Refik Saydam Hıfzıssıhha Merkezi Başkanlığı, Ankara, 2010.

BENZİNE UYGULANAN MANYETİK ALANIN EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİLERİ

Ömer Faruk DEMİRTAŞ¹, Tarkan KOCA^{2*}

¹İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Malatya, 44100, Türkiye

²İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Malatya, 44100, Türkiye

Geliş tarihi: 12.03.2021 Kabul tarihi: 15.04.2021

ÖZET

İçten yanmalı motorlarda, motor performans parametrelerini iyileştirmek, yakıt tüketimini ve istenmeyen egzoz emisyonlarını azaltmak oldukça önemlidir. Hem çevreye hem de insan sağlığına zarar veren istenmeyen egzoz gaz emisyonlarının düşürülmesi genel olarak motorda iyi bir yanmanın oluşmasına bağlıdır. Bu çalışmada dört zamanlı tek silindirli, benzinli bir motorun yakıt hattına manyetik alan uygulanarak yanma verimliliği artırılmaya ve istenmeyen egzoz gazları azaltılmaya çalışılmıştır. Manyetik alan oluşturmak için yakıt hattı üzerine neodimyum mıknatıslar yerleştirilerek yakıt hortumu içerisinde 1850 Gauss gücünde bir manyetik alan oluşturulması sağlanmıştır. 2000, 2500 ve 3000 d/dak motor devirlerinde ayrı ayrı manyetik alan deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerde 1850 Gauss ve 3000 d/dak'da istenmeyen gazlardan HC, CO ve CO₂'nin sırasıyla %22.06, %21.2 ve %25.9 oranında azaldığı ve hava-yakıt karışımının da %33.07 oranında arttığı tespit edilmiştir..

Anahtar Kelimeler: İçten yanmalı benzinli motor, Manyetik alan, Egzoz emisyonları.

EFFECTS OF MAGNETIC FIELD APPLIED TO GASOLINE TO THE EXHAUST EMISSIONS

ABSTRACT

In internal combustion engines, it is very important to improve engine performance parameters, reduce fuel consumption and unwanted exhaust emissions. The reduction of unwanted exhaust gases that harm both the environment and human health generally depends on the formation of a good combustion in the engine. In this study, it has been tried to increase the combustion efficiency and reduce the unwanted exhaust gases by applying a magnetic field to the fuel line of a four-stroke single cylinder gasoline engine. In order to create a magnetic field, neodymium magnets were placed on the fuel line at a magnetic field of 1850 gauss was created in the fuel hose. Magnetic field experiments were carried out separately at engine speeds of 2000, 2500 and 3000 rpm. In the experiments carried out, it was determined that HC, CO and CO₂ among the undesired gases at 1850 Gauss and 3000 rpm decreased by 22.06%, 21.2% and 25.9% respectively, and the air-fuel mixture increased by 33.07%.

Keywords: Internal combustion gasoline engine, Magnetic field, Exhaust emissions

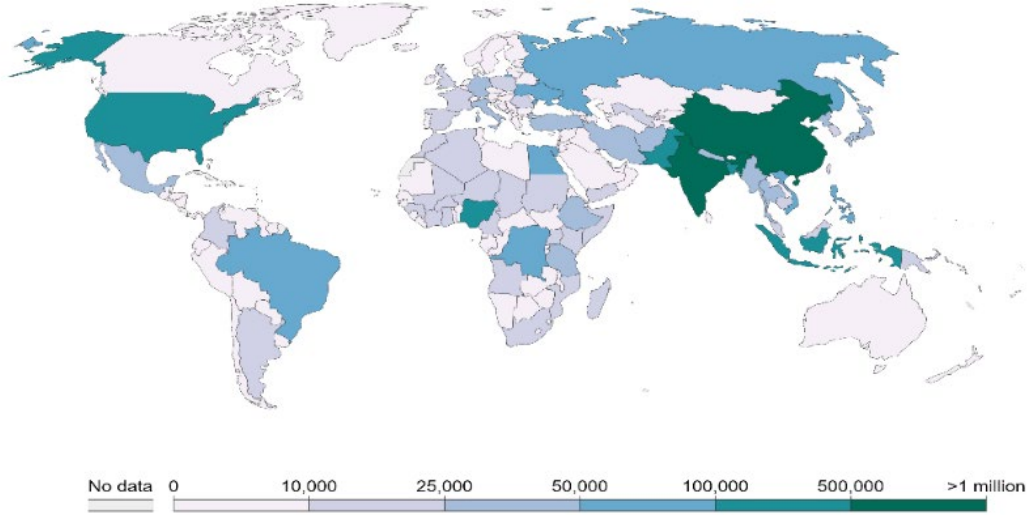
1. Giriş

Dünyada her geçen gün nüfusun artmasına ve otomotiv sanayisindeki gelişmelere bağlı olarak motorlu araç sayısı ve trafikteki kullanıcı sayısı artmaktadır. Bu artış fosil kaynaklı yakıtların tüketim

¹ e-posta: ofaruk299@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2385-9550>

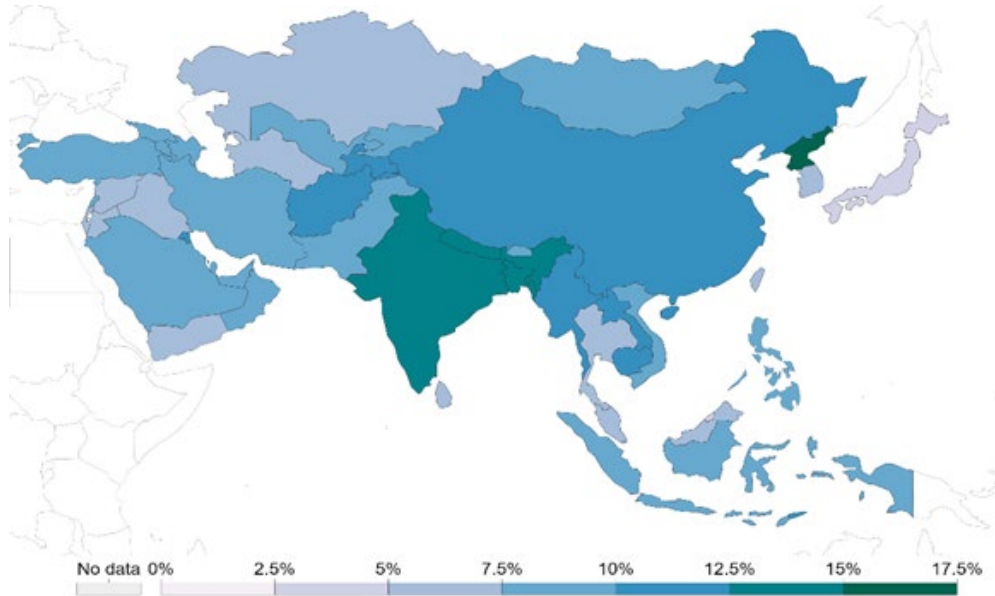
^{2*} e-posta: tarkan.koca@inonu.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6881-4153> (Sorumlu Yazar)

miktarının ve dolayısı ile çevre kirliliğinin artmasına neden olmaktadır. Çünkü fosil kaynaklı yakıtlar, motorun tasarımından çevre koşullarına kadar birçok sebepten dolayı %100 verimle yakılamadığından atmosfere CO, CO₂, HC ve NO_x gibi çeşitli zararlı gazlar salınmaktadır. Bu zararlı gazlar çevreyi kirleterek insan sağlığını da tehdit etmektedir. Şekil 1’de verilen haritada Dünya’da hava kirliliğinden dolayı ölen insan sayısı gösterilmiştir. Ölüm sayılarının bazı bölgelerde daha fazla olduğu görülmektedir.



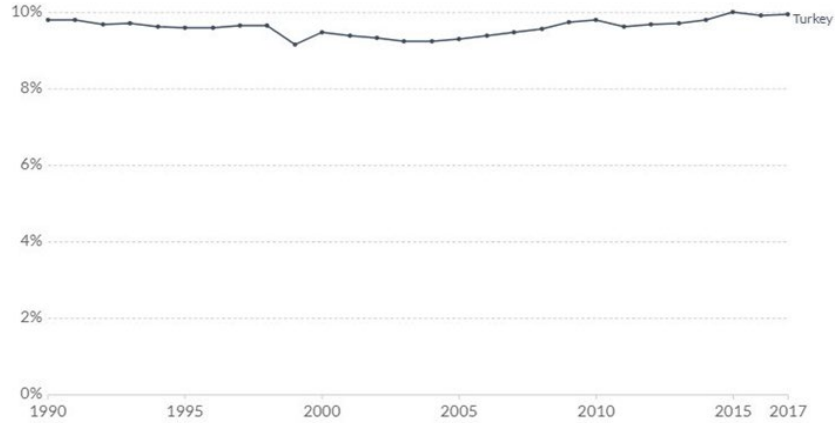
Şekil 1. Dünya’da 2017 yılında hava kirliliğinden dolayı ölenlerin sayısı [1]

Asya kıtasında ölümler diğer kıtalara göre daha fazla olup bu ölümler Şekil 2’de haritalandırılmıştır.



Şekil 2. Asya kıtasında 2017 yılında hava kirliliğinden dolayı ölümler [1]

Türkiye’de Şekil 3’de gösterildiği gibi ölümlerin %9.94’lük kısmı hava kirliliğinden dolayı olmaktadır [1]



Şekil 3. Türkiye’de 2017 yılında hava kirliliğinden dolayı ölüm oranı [1]

Motorlu araçlardan çıkan zararlı egzoz gazları insan sağlığını tehdit ettiği gibi doğaya da zarar vermektedir. Bu konu için çeşitli araştırmalar ve önlemler hükümetler tarafından alınmaya çalışılmaktadır. Egzoz emisyon gazlarını azaltmak için motorda yanan fosil yakıtların yanma veriminin iyileştirilmesi günümüzün önemli konularından biridir. Bu alanda yapılan çalışmalardan bazıları yakıt manyetik alan uygulanmasıdır. Fosil yakıtlarda, hidrokarbonlar yüksek miktarda bulunmaktadır. Manyetik alan fosil yakıtların içinde bulunan hidrojen moleküllerinin yapısına etki etmektedir.

Hidrokarbon molekülleri "kafes benzeri" bir yapıya sahiptir [2]. Hidrokarbonlu yakıtlarda Hidrojen, para ve orto olarak iki farklı izomerik formda oluşur. Hidrojenin, orto durumundaki yanma hali, para durumunda yanma haline göre daha verimlidir [3]. Orto durumu yakıt hattı boyunca manyetik alan etkisiyle elde edilebilir [4]. Yakıtta güçlü bir manyetik alan uygulandığında, hidrokarbonlar yön değiştirir ve para formundan orto formuna geçiş yapar. Orto formunda, moleküller arası kuvvetlerde önemli azalmalar meydana gelir ve hidrojenler arasındaki boşluklarda artış oluşur. Bu boşluk, yakıtın manyetik işleminden geçirilmesi ile artar ve yakıt silindirde tamamen yanar [5].

Faris ve ark. [6] içten yanmalı iki zamanlı benzinli bir motorun yakıt hattına kalıcı mıknatıslar ile farklı yoğunluklarda manyetik alan uygulaması yapmış ve egzoz gazı bileşenlerinden CO oranında %30 azalma, HC oranında %40 azalma, CO₂ oranında %10 bir artış tespit etmişlerdir. Habbo ve ark. [7] tek silindirli dört zamanlı benzinli motorda yakıt hattında iki tür manyetik bobin kullanarak 1000 ve 2000 Gaussluk manyetik alan oluşturup motor devrini 2000 d/dak’da sabit tutarak deney yapmışlardır. En iyi sonuçları 2000 Gauss'luk manyetik bobin kullanıldığında CO'da %90 ve HC'da %58 azalma olarak tespit etmişlerdir. Salih ve Allawi [8] dört zamanlı ve dört silindirli dizel motora kalıcı mıknatıs uygulamasını yakıt hattı boyunca uygulayarak CO oranında %13.8, CO₂ %7.8, HC'da %10.8'lik bir azalma tespit etmişlerdir. Patel ve ark. [9] tek silindirli dört zamanlı dizel motor kullanarak yakıt hattına ferrit mıknatıs uygulaması ile 2000 Gauss değerinde manyetik alan oluşturmuştur. Yakıt tüketiminde % 8 bir azalma saptamışlardır. NO₂'de %27.7, HC'da %30, CO₂'de %9.72 lik bir azalma tespit etmişlerdir. Pramodkumar ve ark. [10], dört zamanlı tek silindirli benzinli motor yakıt hattına neodimyum mıknatıs uygulaması yaparak 4000 ve 8000 Gaussluk manyetik alan oluşturmuşlardır. 8000 Gauss'da HC, CO ve CO₂ ' de sırasıyla %97, %30.57 ve %30.57'lik bir azalma tespit etmişlerdir.

Bu çalışmada tek silindirli dört zamanlı bir benzinli motorun yakıt hattına neodimyum mıknatıslar ile manyetik alan uygulaması yapılmıştır. Mıknatıslar yakıt hattına yerleştirilerek yakıt tüketimine ve egzoz emisyon değerlerine etkileri incelenmiştir.

2. Materyal ve Metod

2.1. Dört Zamanlı Tek Silindirli Motor

Bu çalışmada Briggs Stratton marka XR2100 model dört zamanlı tek silindirli benzinli motor kullanılmıştır (Şekil 4). Bu motorun teknik özellikleri Çizelge 1’de belirtilmiştir.



Şekil 4. Briggs Stratton / XR2100

Çizelge 1. Briggs Stratton XR200 teknik özellikler.

Marka / Model	Yakıt tipi	Motor Hacmi	Ağırlık	Güç HP
Briggs Stratton / XR2100	Benzin	420 CC	31.5 Kg	13.5 HP

2.2. Mıknatıslar

Bu çalışmada Neodimyum N35 tipinde kalıcı mıknatıslar kullanılmıştır (Şekil 5). Bu mıknatıslar maksimum manyetik enerji alanı ile maksimum artık manyetizmaya sahiptirler. Yüksek korozyon direnci göstermekte olup istenilen herhangi bir şekilde (disk, halka, segment, çubuk gibi) üretilebilmektedirler. Bunlar 8 mm çapında, 5 mm yüksekliğinde silindirik tip mıknatıslardır. 8 mm çapında 5 mm yüksekliğinde N35 mıknatıslardan 10 adet olacak şekilde yakıt hortumu üzerine yerleştirilmiştir. Sinterlenmiş N35 neodimyum mıknatıslarının özellikleri Çizelge 2’de gösterilmiştir. Yapılan deneylerde manyetik alanın en ideal değerinin 1850 gauss olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5. N35 tip Neodimyum mıknatıslar

Çizelge 2. Sinterlenmiş N35 Neodimyum mıknatısın özellikleri [11]

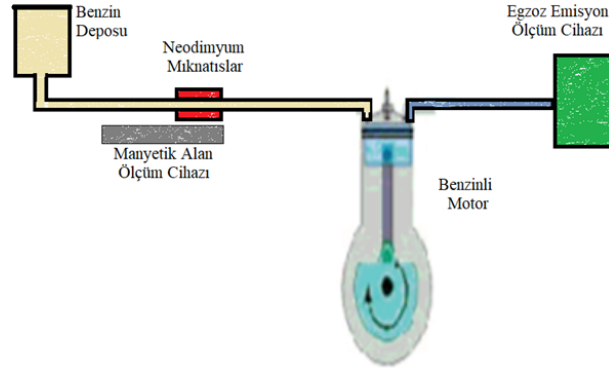
Maksimum çalışma sıcaklığı (C°)	Kalıcı indüksiyon (KiloGauss)		Zorlayıcı kuvvet (kA/m)		Ürettiği maksimum enerji (kJ/m ³)
	Minumum	Maksimum	Endüktif koersivite	İçsel koersivite	
80	1.17	12.2	≥859	≥955	263-287

2.3. Deney Düzenegi

Deney seti bir stant üzerinde kurulmuştur. Ölçüm cihazları ve deney seti Şekil 6'da görülmektedir. Şekil 7'de şematik olarak deney seti diyagramı gösterilmektedir. Yakıt deposu motordan daha yüksek bir konumda olması için tekerlekli standın yanına bir depo aparatı yapıp standa monte edilmiştir. Yakıt deposu motordan sökülüp, depo aparatına montajı yapılmıştır. Motor ile yakıt deposu arasındaki yakıt hattına mıknatıslar döşeneceğinden dolayı depo motora 1.5 metre uzaklığa yerleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan mıknatısın manyetik alan gücü değerini ölçmek için LakeShore-411 marka/model gaussmetre cihazı kullanılmıştır. Yakıt hortumunun içinde oluşan manyetik alan deneylere başlanmadan önce gaussmetre ile ölçülmüştür. Yakıt hortumu şeffaf bir hortum ile değiştirilmiştir. Bunun amacı yakıt hortumu içerisinden geçen yakıtı görebilmektir. Deneylerde kullanılan mıknatıslar yakıt hattına karşılıklı olarak birbirini çekecek (N-S/N-S) biçimde yerleştirilmiştir. Motor çalışma devir sayısını ölçmek için YokoGawa marka cep takometre cihazı kullanılmıştır. Bu cihazı motorun krank miline temas ettirerek ölçüm işlemi yapılmıştır. Her deney için istenilen devir sayısı motor üzerinde bulunan gaz kolu ile ayarlanmıştır. Motor devir sayıları deneylerde her seferinde 2000, 2500 ve 3000 d/dak olacak şekilde ayarlanmıştır. Tüm bu işlemler yapıldıktan sonra Bosch BAE 350 model egzoz emisyon ölçüm cihazı ile egzozdan dışarı atılan egzoz emisyon gazları ölçülmüştür.



Şekil 6. Deney seti (1- Yakıt deposu 2- Yakıt hattı 3- Benzinli Motor 4- Egzoz emisyon cihazı)



Şekil 7. Deney seti akış diyagramı

2.4. Deneylerin Yapılması

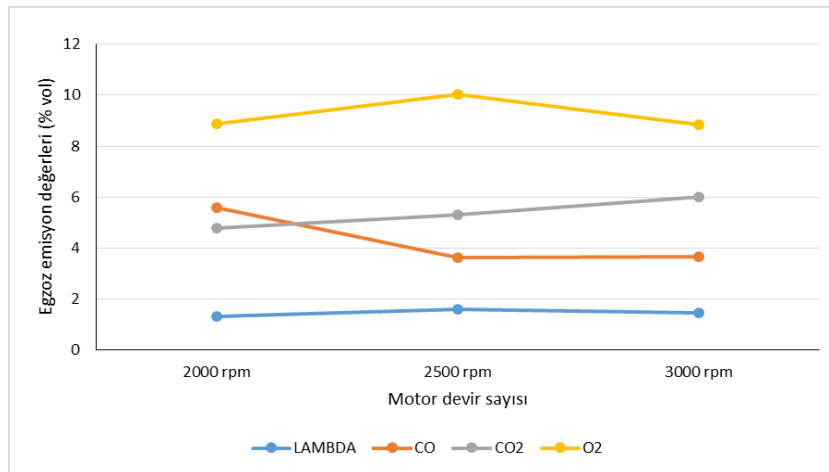
Deney setinde öncelikle yakıt hattına mıknatıs uygulaması yapılmadan önce egzoz emisyon ölçümleri yapılmıştır. Tüm deneyler motorun kararlı çalışma bölgesinde yapılmıştır. Deneylerde yakıtın maruz kaldığı toplam manyetik alan 1850 Gauss olarak ölçülmüştür. Yapılan deneylerde mıknatıslar yakıt hattına yerleştirilerek, egzoz emisyon cihazı ile ölçümler yapılmıştır. Mıknatıslarla yapılan deneyde yakıt hattında 8 mm çapında olan 10 adet mıknatıs karşılıklı olarak birbirini çekecek şekilde yerleştirilmiştir. Motor devri 2000, 2500 ve 3000 d/dak olarak ayarlandıktan sonra egzoz emisyon ölçüm analizleri yapılmıştır. Her ölçüm en az onar defa tekrarlanmış olup verilerin ortalaması alınmıştır.

Mıknatıs kullanılmadan yapılan deneyin egzoz emisyon verileri Çizelge 3'te gösterilmiştir.

Çizelge 3. Mıknatıs kullanılmadan yapılan deneyin egzoz emisyon verileri

Motor devir sayısı	Lambda	CO	CO ₂	HC	O ₂
2000 d/dak	1.320	5.5984	4.778	162.2	8.888
2500 d/dak	1.6198	3.647	5.324	62.2	10.018
3000 d/dak	1.4653	3.6755	5.9983	48.5	8.85

Motor devir sayısı arttıkça egzoz emisyon değerlerindeki değişim Şekil 8'de görülmektedir.



Şekil 8. Mıknatıs kullanılmadan yapılan deneyin egzoz emisyon değerleri

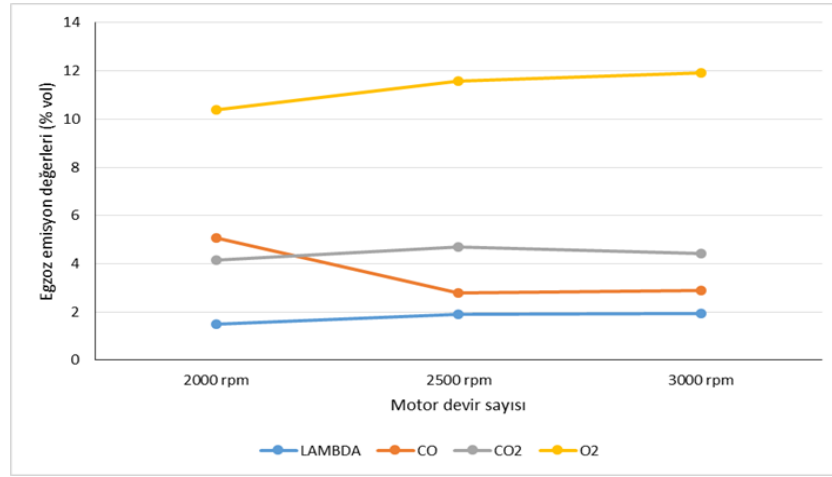
3. Bulgular Ve Tartışma

Yapılan çalışmada, yakıt hattına mıknatıslar yerleştirilerek deneyler yapılmıştır. Motor 2000, 2500, 3000 d/dak devir sayısı ile çalışırken manyetik alan uygulanan deneyin egzoz emisyon değerleri Çizelge 4’de verilmiştir.

Çizelge 4. Mıknatıs kullanılarak yapılan deneyin egzoz emisyon değerleri

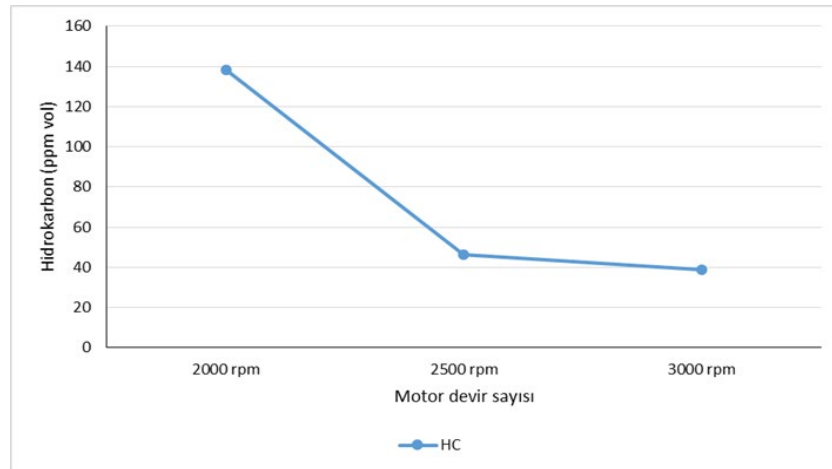
Motor devir sayısı	Lambda	CO	CO ₂	HC	O ₂
2000 d/dak	1.504	5.0562	4.148	138.2	10.38
2500 d/dak	1.909	2.783	4.702	46.4	11.576
3000 d/dak	1.950	2.896	4.442	38.8	11.936

Bu deneyde CO, CO₂, HC ve O₂ gibi egzoz emisyon değerleri ile hava-yakıt oranı olan lambda değeri motor devir sayısına bağlı olarak ölçülmüştür (Şekil 9).



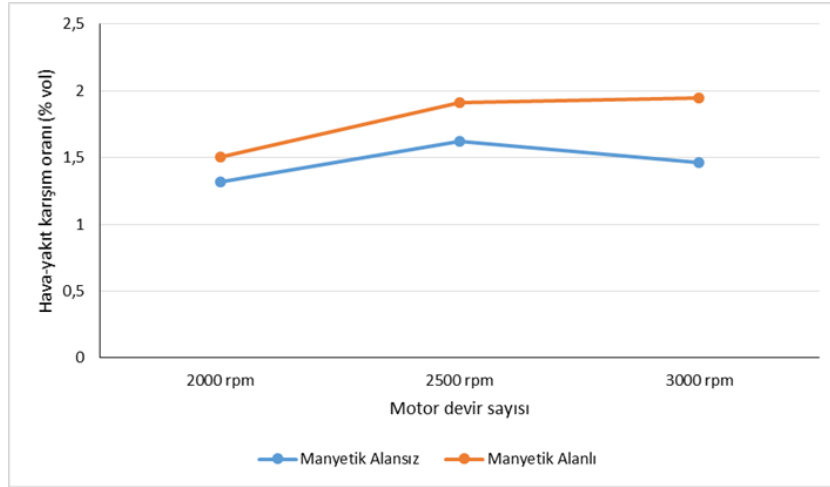
Şekil 9. Devir sayısı ve egzoz emisyon değerlerinin değişimi

Bu deneyde mıknatıs kullanılarak yapılan deney sonucunda hidrokarbon emisyon gaz değerleri Şekil 10’da gösterilmiştir. Motor devri 2000, 2500 ve 3000 d/dak değerinde sabit tutulmuştur.



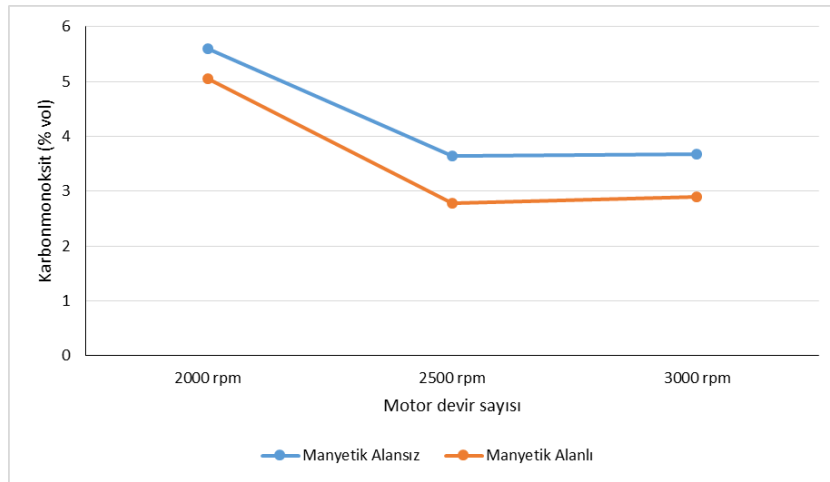
Şekil 10. Devir sayısı ve HC değerlerinin değişimi

Mıknatıs kullanılmadan yapılan deneye göre lambda değerindeki artış Şekil 11’de gösterilmiştir. Grafikten anlaşılacağı gibi manyetik alan uygulaması, hava-yakıt karışımı olan lambda değerinde artış etkisi oluşturmuştur. Bu durum yakıt tüketiminde bir azalma olduğunun göstergesidir.



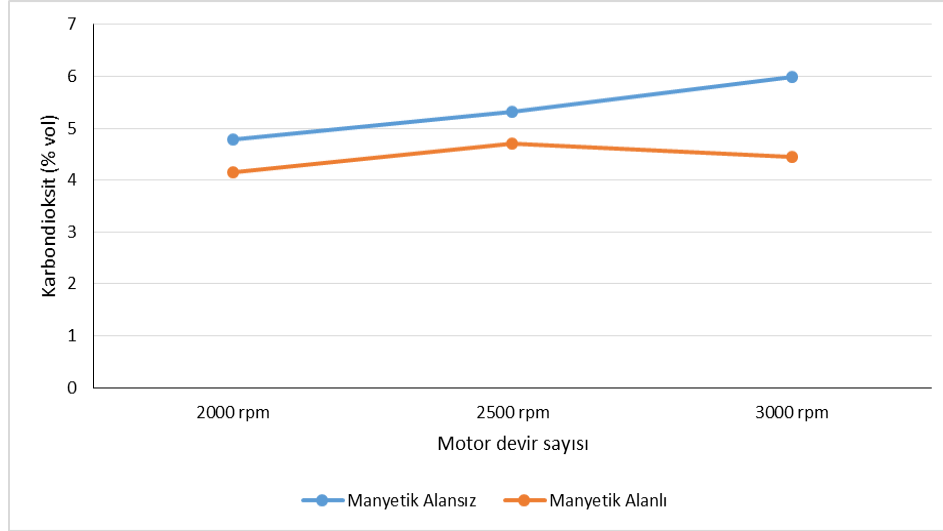
Şekil 11. Devir sayısı ve hava-yakıt oranının değerlerinin değişimi

Karbonmonoksit (CO), eksik yanmanın bir ürünüdür. Yakıttaki karbon, karbondioksite (CO₂) tamamen oksitlenmek yerine kısmen oksitlendiğinde ortaya çıkmaktadır. Karbonmonoksit, kan dolaşımındaki oksijen akışını azaltır ve özellikle kalp hastalığı olan kişiler için tehlike oluşturur [12]. Karbonmonoksit miktarı mıknatıs kullanılmadan yapılan deneye göre oldukça azalmaktadır (Şekil 12).



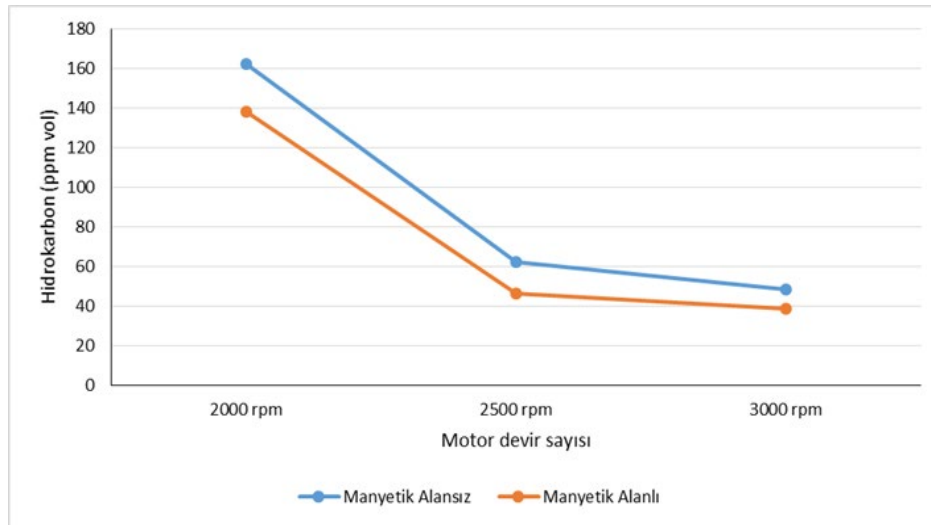
Şekil 12. Devir sayısı ve CO değerlerinin değişimi

Son yıllarda, ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA), mükemmel bir yanma ürünü olan karbondioksiti kirlilik endişesi olarak görmeye başlamıştır. Karbondioksit insan sağlığını doğrudan etkilememektedir. Dünyanın ısısı ve küresel ısınma problemine sebep olmaktadır [12]. Şekil 13’de karbondioksit değerlerinin, yakıtı manyetik alan uygulaması sonucunda azaldığı görülmektedir.



Şekil 13. Devir sayısı ve CO₂ değerlerinin değişimi

Hidrokarbon emisyonları, motordaki yakıt molekülleri yanmadığında veya kısmen yandığında ortaya çıkar. Bazı egzoz hidrokarbonları toksiktir ve kansere yol açma potansiyeli vardır [12]. Mıknatısla yapılan deneyde HC seviyesinin, mıknatıs kullanılmadan yapılan deneye göre azaldığı tespit edilmiştir (Şekil 14).



Şekil 14. Devir sayısı ve HC değerlerinin değişimi

4. Sonuç

Motorlu taşıtların atmosfere yaydığı egzoz gazı emisyonlarından kaynaklanan kirlilik, günümüzde hava kirliliğine yol açan önemli etkenlerden biridir. Çevre ve canlıların sağlığı için risk oluşturan egzoz gazı emisyon değerlerinin minimum seviyede olması, içten yanmalı motorlarda istenilen en önemli özelliklerden biridir. Zararlı egzoz gaz emisyon değerlerini azaltmak için yakıtı manyetik alan uygulaması bir çok çalışmada yapılmıştır.

Yapılan bu çalışmada, yakıt hortumu üzerine döşenen mıknatıslar ile yakıtı manyetik alan uygulanmıştır. Yapılan deneylerde motor devri 2000 d/dak, 2500 d/dak ve 3000 d/dak seçilmiş ve egzoz

emisyona değerleri ölçülmüştür. Manyetik alan, yakıtın stabil yapısında değişiklik yaptığı için yanma verimi artmış olup hava-yakıt karışımı da iyileştirilmiştir. Motor yakıt hattına mıknatıslarla manyetik alan uygulayarak yapılan analizlerde, lambda, CO₂, CO, HC ve O₂ gibi değerlerdeki değişiklikler Çizelge 5’de gösterilmiştir. Motorda yakıt hattına yerleştirilen mıknatıslar ile oluşturulan 1850 Gauss’luk manyetik alan değerinde CO salınımında % 21.2 bir azalma meydana gelmiştir. HC miktarında ise % 22.06’lık azalma gerçekleşmiştir. Lambda değerlerinde %33.07 artış ve O₂ oranında % 34.8’lik bir iyileşme olmuştur. Bu sonuçlar yakıtta manyetik alan uygulamanın yanma verimini arttırdığını göstermektedir. Bu değerler 3000 d/dak’da elde edilmiştir.

Çizelge 5. Mıknatıs kullanılarak yapılan deneylerin, mıknatıs kullanılmadan yapılan deneye göre analizi

Motor devir sayısı	Lambda	CO	CO ₂	HC	O ₂
2000 d/dak	% 14.01 artış	% 9.6 azalma	% 13.18 azalma	% 14.8 azalma	% 16.7 artış
2500 d/dak	% 17.85 artış	% 23.7 azalma	% 14.68 azalma	% 25.4 azalma	% 15.5 artış
3000 d/dak	% 33.07 artış	% 21.2 azalma	% 25.9 azalma	%22.06azalma	% 34.8 artış

Fosil yakıtlar hidrojen ve hidrokarbon moleküllerinden oluşmakta olup hidrokarbonlar temelde kafes benzeri bir yapıya sahiptirler. Bu nedenle yanma sürecinde karbon atomlarının içine, yeterli miktarda oksijen erişememekte ve tam yanma sağlanamamaktadır. Hidrojen atomu para ve orto olmak üzere iki farklı izomerik yapıdan oluşmakta olup para durumunda hidrojen molekülleri zıt yönde hareket ederken orto durumunda aynı yönde hareket etmektedirler. Bu yüzden hidrojenin para durumu orto durumuna göre yanma verimi açısından daha verimlidir. Yakıtta manyetik alan uygulandığında yakıt para durumundan orto durumuna geçmekte ve yakıtın molekül yapısı değişmektedir. Deney sonuçlarından anlaşılacağı üzere yakıt manyetik alana maruz kaldığında yakıtın bu özelliği değişmekte olup yanma verimi artmaktadır.

Manyetik alan uygulamak için herhangi bir enerjiye ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu nedenle ekonomik olarak uygulanabilir. Yakıtın molekül yapısı manyetik alan ile değiştiğinden endüstriye ve çevreye ait farklı uygulamalarda da kullanılabilir. Yakıtta manyetik alan uygulanması ile hidrokarbon yakıt kullanan motor ve makinelerin veriminin artacağı görülmekte olup yakıt tüketimi miktarı da azalacaktır. Yakıtta hattına yerleştirilen mıknatısların ortalama özgül yakıt tüketimine etkisi Çizelge 6’da gösterilmiştir. Yakıtta uygulanan manyetik alan sonucu özgül yakıt tüketimi yaklaşık %9.95 düşmüştür.

Çizelge 6. Motorun özgül yakıt tüketim analizi

Motor devir sayısı	Özgül yakıt tüketimi (gr/kW)	
	Mıknatıs kullanılmadan	Mıknatıs kullanarak
2000 d/dak	0.390	0.375
2500 d/dak	0.415	0.380
3000 d/dak	0.435	0.415

Manyetik alan uygulanması sonucu yakıt moleküllerinin yer değiştirmesi ve polarize olması yakıtın manyetik alandan etkilendiğini göstermektedir. Ayrıca bu sistemin ekonomik olması, kurulumunun kolay olması, enerji tüketmemesi ve motorda mekanik değişiklik yapmaya gerek duymaması önemli avantajlarıdır.

Kaynaklar

- [1] Ritchie H, Roser M. Outdoor Air Pollution. Our World in Data, <https://ourworldindata.org> (Erişim Tarihi: 10.12.2020).
- [2] Govindasamy P, Dhandapani S. Experimental Investigation of Cyclic Variation of Combustion Parameters in Catalytically Activated and Magnetically Energized Two-Stroke SI Engine. *Journal of Energy and Environment* 2007; 6: 561–569.
- [3] Raut MS, Uparwat SS, Nagarale C. Experimental Inspection by Using the Effect of Magnetic Field on the Performance of Diesel Engine. *International Research Journal of Engineering and Technology* 2017; 4: 2191–2194.
- [4] Chaware K, Basavaraj M, Walke P. Effect of Fuel Magnetism by Varying İntensity on Performance and Emission df Single Cylinder Four Stroke Diesel Engine. *International Research Journal of Engineering and Technology* 2015; 2: 1121–1126.
- [5] Mane DR, Sawant VS, India M. Comparative Study of Effect of Magnetic Field and Magnetically Treated Water on Growth of Plants and Crop Yield. *International Journal for Scientific Research and Development* 2015; 3: 300–302.
- [6] Faris AS, Al-Naseri SK, Jamal N, Isse R, Abed M, Fouad Z, Kazım A, Reheem N, Chaloob A, Mohammad H, Jasim H, Sadıkın C, Salim A, Abas A. Effects of Magnetic Field on Fuel Consumption and Exhaust Emissions in Two-Stroke Engine. *Energy Procedia* 2012; 18: 327–338.
- [7] Habbo ARA, Khalil R, Hammoodi HS. Effect of Magnetizing the Fuel on the Performance of an SI Engine. *AL-Rafdain Engineering Journal* 2011; 19: 84–90.
- [8] Salih AM, Allawi EMK. Effect of Magnetic Field on the Fuel Consumption and Exhaust Emissions in Internal Combustion Engine. *National Renewable Energies Conference and Their Applications* 2013; 122–135.
- [9] Patel PM, Rathod GP, Patel TM. Effect of Magnetic Field on Performance and Emission of Single Cylinder Four Stroke Diesel Engine. *IOSR Journal of Engineering* 2014; 4: 28–34.
- [10] Pramodkumar G, Naidu MK, Sandeep JV, Vasupalli R, Lade P. Effect of Magnetic Field on the Emissions of Single Cylinder Four Stroke Petrol Engine. *Advances in Automobile Engineering* 2017; 6: 2-4.
- [11] Anonim. Sinterlenmiş NdFeB Miknatısları Özellikleri, <https://www.miknatis.net/neodimyum-mik-ndfeb> (Erişim Tarihi: 12.12.2020).
- [12] Sharaf J. Exhaust Emissions and Its Control Technology for an İnternal Combustion Engine. *International Journal of Engineering Research and Applications* 2013; 3: 947–960.

SANDIK KESİTLİ BETONARME KÖPRÜLERİN TAŞIT YÜKÜ ETKİSİNDEKİ YAPISAL DAVRANIŞI

Enes Miraç KARADAĞ^{1*} , Murat PALA²

¹Adiyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adiyaman, 02040, Türkiye

²Adiyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adiyaman, 02040, Türkiye

Geliş tarihi: 17.03.2021 Kabul tarihi: 10.05.2021

ÖZET

Bu çalışmada üç gözlü, sandık kesitli ve üç açıklıklı betonarme bir köprü; sonlu elemanlar yöntemiyle SAP2000 programında modellenmiştir. Daha sonra zaman tanım alanında, taşıt yükünün dinamik etkisine göre analiz edilmiştir. Farklı taşıt yükleme durumları için köprü yapısındaki yer değiştirme, köprü birleşim noktalarındaki kesme kuvveti ve eğilme momenti açısından karşılaştırmalar yapılmıştır. Taşıt hızına göre yükleme durumunda köprünün iki ucundan, ters yönlerde, aynı hızlarda birer kamyon geçirilmiştir. Kamyonlara 5 farklı hız değeri tanımlanarak analizler yapılmıştır. Taşıt sayısına göre yükleme durumunda köprünün iki ucundan, ters yönlerde, eşit sayılarda kamyonlar geçirilmiştir. 5 farklı sayıda kamyon köprü üzerinden geçirilerek analiz yapılmıştır. Taşıtlar arası takip mesafesine göre taşıt yükleme durumlarında; köprünün iki ucundan, ters yönlerde, ikişer adet kamyon geçirilmiştir. 5 farklı takip mesafesinde kamyonlar geçirilerek analiz yapılmıştır. Analizler sonucu köprü yapısında oluşan deformasyon, kesme kuvveti ve eğilme momenti değerlerinin farklı trafik koşulları altında zamana göre değişmektedir. Bu değişimlerin taşıt hızı, sayısı ve takip mesafesine bağlı olarak düzenli bir şekilde değişmediği görülmüştür. Grafikler ve şekiller yardımıyla karşılaştırmalar yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Köprü, Sandık kesit, SAP2000, Taşıt yükü

Structural Behavior of Reinforced Concrete Bridges with Box Girder under the Influence of Vehicle Load

ABSTRACT

A reinforced concrete bridge with three eyes, box girder and three spans were modeled in SAP2000 program by using finite element method in this study. Afterwards analyzed in the time definition field according to the dynamic effect of vehicle load. For different vehicle loading situations, comparisons were made in terms of displacement in the bridge structure, shear force at the Bridge junction points and bending moment. According to the vehicle speed, in the case of loading, a truck was passed at the same speeds at both ends of the bridge, in opposite directions. 5 different speed values were defined for the trucks and analyzed. According to the number of vehicles, in case of loading, trucks were passed from both ends of the bridge, in opposite directions, in equal numbers. 5 different numbers trucks were passed over on the bridge and analyzed. According to the following distance between vehicles, in the case of loading vehicles; two trucks were passed from the two ends of the bridge, with the opposite directions. Analysis was done by passing trucks at 5 different tracking distances. As a result of the analysis, the deformation, shear force and bending moment values formed in the bridge structure vary according to time under different traffic conditions. These changes did not change regularly depending on vehicle speed, number and tracking distance. Comparisons were made with the help of graphs and figures.

Keywords: Bridge, Box girder, SAP2000, Vehicle load

* e-posta¹: emk003.ek@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8640-4038> (Sorumlu Yazar)

e-posta²: pala@adiyaman.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3684-9976>

1. Giriş

Ulaşım, insanların günlük yaşamında en çok etkili olan faaliyetlerden biridir. Genellikle mal, insan ve fikirlerin taşınması olarak tanımlanabilir [1]. İnsan ve mal ulaşımı; karayolu, denizyolu, demiryolu ve havayolu ile sağlanır. Köprüler insanlık tarihinin eski dönemlerine kadar uzanan çeşitli coğrafi engelleri aşmak için kullanılan yapılardır. Üzerinden demiryolu, karayolu, yaya yolu veya iletim hattı geçirilmesini sağlayan iki ucundan ayaklara oturan veya gerektiğinde farklı genişliklerde ve birden fazla açıklıklardan oluşan yapılardır [2, 3]. Ahşap köprüler, demir köprüler ve çelik köprüler, betonarme köprüler ve ön gerilmeli beton köprüler günümüzde var olan köprü çeşitleridir.

Sandık kesitin kullanılması birçok avantaj sağlar. En büyük avantajlarından biri kesitin minimum ağırlıkla yüksek rijitlik ve dayanım sağlamasıdır. Köprü üzerindeki sabit yükler arttıkça göreceli etkinlik de artmaktadır [4].

Köprülerin tasarımında Karayolları Genel Müdürlüğü Yol ve Köprüler Teknik Şartnamesinden yararlanılmaktadır. Fakat bu şartname günümüz şartlarında yetersiz kalmaktadır. Bu yüzden Karayolları Genel Müdürlüğü, AASHTO ve AASHTO LFRD yönetmeliklerini benimsemiştir. ASSHTO LFRD, köprülerde kullanılan malzemelerin doğrusal olmayan davranışını hesaba katar ve farklı köprü çeşitleri için kuvvet esaslı doğrusal yöntemleri benimseyerek köprülerin tasarlanması sağlar. AASHTO LFRD yönetmeliği, AASHTO yönetmeliğinden sonra yürürlüğe girmiştir. AASHTO yönetmeliğinde köprü tasarımı, yük faktörü yöntemi esas alınarak yapılır. ASSHTO LFRD yönetmeliği yük ve dayanım faktörlerini tasarımda esas alır [5]. ASSHTO LFRD yönetmeliği 3,2 ile 4 kat arasında değişen daha emniyetli bir tasarım anlayışını benimserken önceki yönetmelikte bu 1,5 ile 4,5 kat arasında değişen emniyetli tasarım yapabilmektedir [6]. Bu çalışmada köprü tasarımı bu yönetmeliklere göre yapılmıştır.

Bu çalışmada değişken kesit olmayan üç gözlü, sandık kesitli ve üç açıklıklı olan betonarme bir köprü modeli incelenmiştir. Köprü, SAP2000 programında sonlu elemanlar metoduna göre üç boyutlu modellenmiştir. ASSHTO yönetmelikleri ve Karayolları Genel Müdürlüğü Yol ve Köprüler Teknik Şartnamesinde kabul gören H30-S24 kamyonu çalışmada baz alınmıştır. Taşıt yükleri köprü yapısına dinamik yük olarak etki ettirilmiştir. Köprü üzerinden geçirilen kamyonların hızları, sayısı ve takip mesafeleri değiştirilerek farklı yükleme durumları oluşturulmuştur. Köprü modeli her yükleme durumu için zaman tanım alanında doğrusal analiz yöntemiyle analiz edilmiştir.

2. Köprü Yapısının SAP2000 Programında Modellenmesi, Taşıt Yüklemesi ve Analizi

2.1. Köprü Yapısının Modellenmesi

Sandık kesitli betonarme köprü modeli, SAP2000 V20 paket programında sonlu elemanlar yöntemiyle yönetmeliklere uygun şekilde oluşturulmuştur. Tasarlanan köprü modeli üç açıklıktan oluşmaktadır. Orta açıklık, yan açıklıklardan daha uzun tasarlanmıştır. Köprü yapısına ait mesnet özellikleri ve köprü elemanlarının uzunlukları Şekil 1'de verilmiştir. Köprü'nün her iki ucunun karayolu ile birleşen noktaları sabit mesnet olarak tanımlanmıştır. Köprü ayaklarının zeminle birleştiği noktalar ise ankastre mesnet olarak tanımlanmıştır.


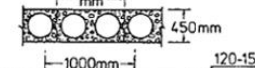
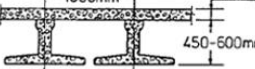



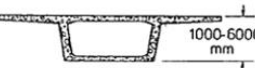
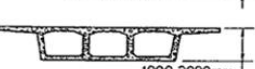
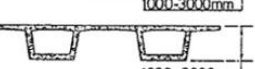


Şekil 1. Köprü modelinin x-z ekseninde görüntüsü, mesnet türleri ve eleman uzunlukları

Sonlu elemanlar yöntemi, bir yapının davranışı hakkında yaklaşık sayısal değerler verir. Yapı elemanının küçük parçalar halinde düğüm noktaları ile bağlanmasıyla bu düğüm noktalarındaki parametreler eleman üzerinden hesaplanabilir [7]

Köprü tabliyesi ve köprü ayakları birleşim noktalarına plastik mafsal tanımlanmıştır. Betonarme köprüler, üstyapının zarar görmesini önlemek amacıyla elastik olmayan deformasyonların kolonlarda oluşmasını sağlayacak şekilde tasarlanmaktadır. Bu tasarım; bina türü yapılarda kullanılan, düşey yükü taşıyan sistemi korumak için elastik olmayan deformasyonların kirişlerde oluşmasını sağlayan tasarım yaklaşımından tamamen farklıdır. Bu yüzden betonarme köprülerde plastik mafsal yapıları kullanılabilir [8].

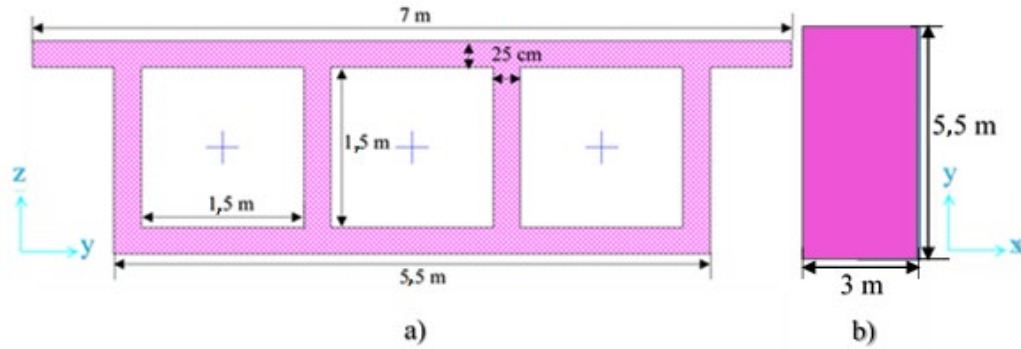
Köprü tabliyesi tipi, çok gözlü kutu kesitli tabliye seçilmiştir. Bu tabliye tipi Şekil 2’de görüldüğü üzere 30-100 metre aralığındaki açıklıklara sahip betonarme köprülerde kullanılmaktadır. Köprü modelinin orta açıklığı 50 metre olduğu için bu kesit türü tercih edilmiştir. Bu kesit türünün imalatı prekast ya da yerinde döküm şeklinde yapılmaktadır. Kesit kalınlığı bu kesit tipinde 1-3 metre aralığında değişmektedir. Dikdörtgen kutu kesitli tabliyeler genellikle raylı sistem köprüleri için uygun görülmüştür. Şekil 2’de görülen diğer kesit tiplerine sahip tabliyeler, karayolu köprüleri için uygundur. Çok gözlü kesitler daha ince döşeme kullanımını sağlar. Tek gözlü kutu kesitli tabliyeler daha uzun açıklıklar için kullanılabilir. Çünkü çok gözlü kutu kesit, tek gözlü kutu kesite göre toplam gövde kalınlığını yani kesit yüksekliğini artırır. Çok gözlü kutu kesitlerin imalatı daha zordur [4]. Modellenen köprü tabliyesinin kesit özellikleri Şekil 2’deki tablodaki sınır değerleri gözetilerek tasarlanmıştır.

Tipi	Örnek	İnşaat Yöntemi	Açıklık aralığı
Dolu kesitli döşeme		Yerinde döküm (YD)	5-15m (15-50 ft)
Boşluklu döşeme		Prekast ya da Prekast+ YD	6-15m (20-50ft)
Ters-T kirişli		Prekast T + YD döşeme	12-24m (40-80ft)
I-kirişli		Prekast I + YD Döşeme	12-35m (40-120ft)
Çift-T kirişli		Yerinde Döküm	25-40m (80-130ft)
Tek omurgalı (tek gözlü) kutu kesitli tabliye		Prekast ya da yerinde döküm	30-200m (100-650ft)
Çok gözlü kutu kesitli tabliye		Prekast ya da yerinde döküm	30-100m (100-330ft)
İki omurgalı (iki kutu kesitli) tabliye		Prekast ya da yerinde döküm	30-200m (100-650ft)
Dikdörtgen kutu kesitli tabliye		Prekast ya da yerinde döküm	30-150m (100-300ft)

Şekil 2. Betonarme ve ön gerilmeli köprü tabliyelerinin kesit tipleri [9]

Kesit ölçüleri ayrıntılı biçimde Şekil 3’te verilmiştir. Köprü genişliği 7 metre olarak belirlenmiştir. Karayolları Genel Müdürlüğü Yol ve Köprüler Teknik Şartnamesine göre bu genişlikteki köprülerde çift şeritli araç geçişine müsaade edilmektedir. Çift şeritli yollarda yük azaltma katsayısı 1’dir.

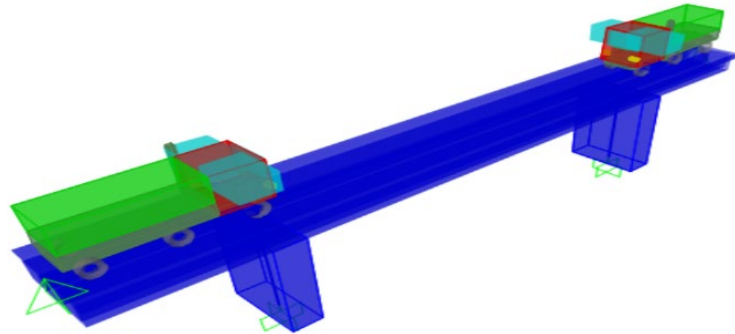
Genellikle betonarme ve ön gerilmeli beton köprülerde köprü ayaklarının kesit tipi; dairesel, dikdörtgen veya boşluklu yapıda olabilir. Bu çalışmada dikdörtgen kesit tipi, köprü ayakları için kullanılmıştır (Şekil 3-b).



Şekil 3. Köprü modelinin kesit özellikleri a) Tabliye kesit özellikleri b) Ayak kesit özellikleri

2.2. Taşıt Yüklemesinin ve Yol Güzergahının Tanımlanması

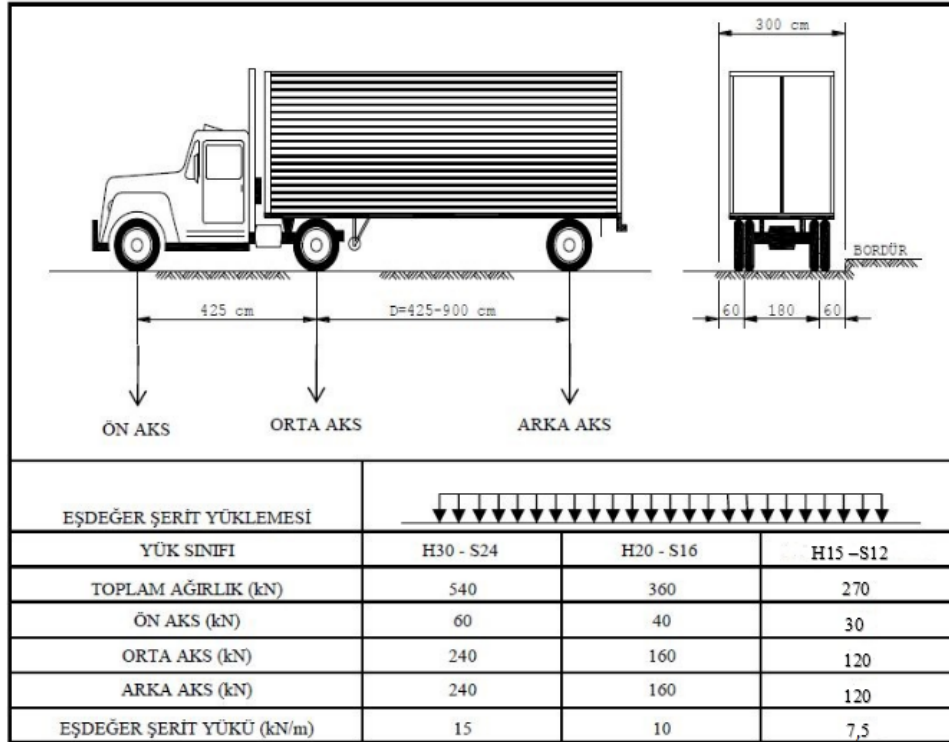
SAP2000 programında köprü üzerindeki yol güzergahı, sadece çubuk elemanlar için tanımlanabilir. Köprü üzerinde farklı yönlerde iki şerit tanımlanmıştır. SAP2000 programında yapılan köprü modelindeki yol güzergahları ve taşıt modellemesi Şekil 4'te görülmektedir.



Şekil 4. Yol güzergahı ve köprüye etki ettirilen taşıtların görünümü

Köprü üzerinde tanımlanan yol güzergahının birden fazla şerit olması durumunda, köprü tabliyesi üzerindeki yolların eksantrisitesinin hesaba katılması daha gerçekçi ve avantajlıdır. Çünkü köprü tabliyesindeki aksel burulma ve alt yapı elemanlarındaki enine eğilmenin belirlenmesinde rol oynar. Fakat analiz süresinden, hafıza gerekliliklerinden ve disk kapasitesinden kazanç sağlanabilmesi açısından şeritlerin eksantrisitesi sıfır kabul edilebilir [10]. Yapılan çalışmada tanımlanan yol eksantrisiteleri sıfır kabul edilmiştir.

Köprü yapısına, Şekil 5'te görülen üç çeşit kamyon türü içerisinde H30-S24 kamyonu etki ettirilerek analiz yapılmıştır. H30-S24 kamyonu karayollarında öngörülen en ağır taşıt modelidir. Bu kamyon türü, Karayolları Genel Müdürlüğü Köprüler Dairesi Başkanlığınca gerekli görülen durumlarda görülmektedir. Bu çalışmada taşıt yükleri, zaman tanım alanında dinamik yük olarak etki ettirileceği için kamyonun dingillerine gelen tekil yükler hesaba katılarak analiz yapılmıştır.



Şekil 5. Kamyon çeşitleri ve yükleme açısından özellikleri [11]

2.3. Köprü Analizinin Yapılması

Sandık Kesitli Köprülerin başlıca analiz yöntemleri;

- Richmond Deplasman Yöntemi,
- Elastik Zemine Oturan Kirişler Yöntemi (BEF - Beam of Elastic Foundation Method),
- Knittel Yöntemi,
- Katlanmış Plak Yöntemi,
- Sonlu Bantlar Yöntemi (Finite Strip Method),
- Sonlu Elemanlar Yöntemi (Finite Elements Method),

olarak sıralanmıştır [2, 12-15]. Köprü analizi yapılırken bu analiz yöntemleri kullanılabilir. Fakat taşıt yüklerinin olduğu köprülerin analizinde iki tür analiz yöntemi kullanılmaktadır. Bunlar hareketli katar yük analiz durumları ve çok adımlı dinamik (doğrudan integrasyon zaman alanı) analiz yöntemleridir [16]. Bu çalışmada köprü yapısı üç boyutlu sonlu eleman olarak modellenmiştir ve analizler zaman tanım alanında, lineer ve doğrudan entegrasyon yöntemi ile yapılmıştır. Zaman tanım alanında taşıt yükleri, köprü tabliyesindeki noktalara aniden etkiyip kaybolan darbe yükü gibidir. Bu yüzden programa zaman tanım alanı 3 zamanlı yani 0, t1, t2 zaman alanında, 1 kN değerinde üçgen yük etkisi tanımlanmıştır. Sıfır zamanında 0 kN değeri varken t1 anında 1 kN ve t2'de tekrar 0 kN tanımlanmıştır. Buradaki t1 ve t2 zamanları taşıt hızına göre hesaplanır [17].

Yükleme süresi içerisinde köprü yapısındaki değişimleri analiz etme sıklığı önemlidir. Analiz etme sıklığı artırıldığında alınan sonuçlar çok daha gerçekçi olmakta ancak analiz süresi de uzamaktadır.

3. Farklı Taşıt Yükleme Durumlarında Köprü Analizi

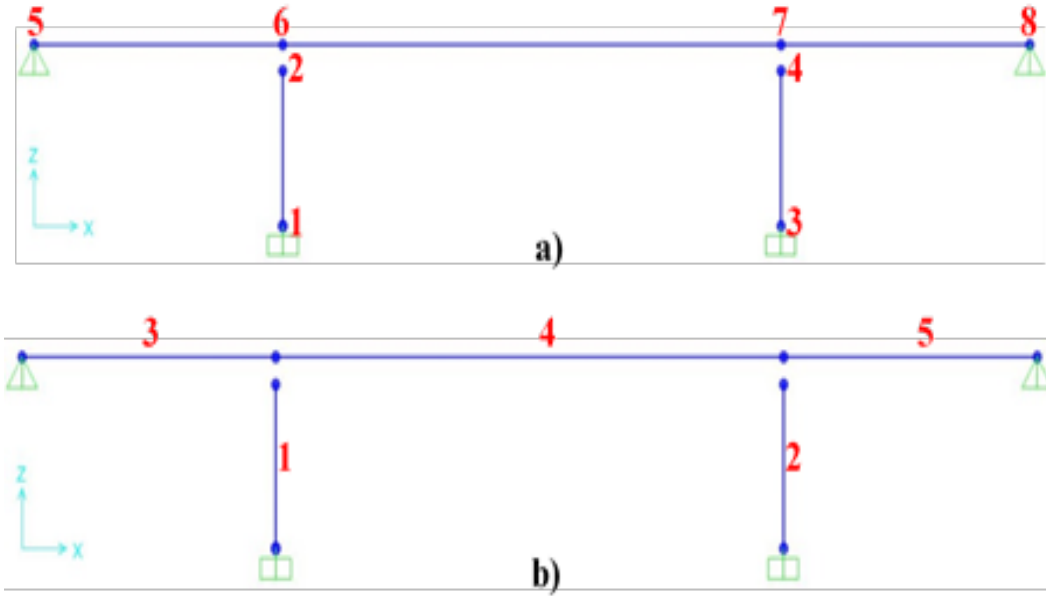
Taşıt hızının değişimine göre yükleme durumlarında; köprünün iki ucundan, ters yönlerde, birer adet H30-S24 kamyonu, 5 farklı hız değerinde geçirilmiştir. Taşıt sayısına göre yükleme durumlarında; köprünün iki ucundan, ters yönlerde, H30-S24 kamyonu, eşit sayılarda ve 10 metre takip mesafesi

olacak şekilde geçirilmiştir. Taşıtlar arası takip mesafesine göre yükleme durumlarında; köprünün iki ucundan, ters yönlerde ikişer adet, H30-S24 kamyonu, 10 km/h hız değerinde, 5 farklı takip mesafelerinde geçirilmiştir. Taşıt yükleme durumlarında belirlenen hız değerleri, taşıt sayıları ve takip mesafesi değerleri Çizelge 1’de verilmiştir. Analizler sonucu köprü yapısında oluşan deformasyon, kesme kuvveti ve eğilme momenti değerleri karşılaştırılmıştır.

Çizelge 1. Taşıt yükleme durumları

Taşıt hızına göre km/h	Taşıt sayısına göre adet	Takip Mesafesine Göre metre
20	2	10
25	4	20
30	6	30
35	8	40
40	10	50

Analizler sonucu, köprü yapısında meydana gelen değişimlerin karşılaştırılabilmesi için köprü modelindeki birleşim noktaları ve elemanları numaralandırılmış (Şekil 6).



Şekil 6. a) Köprü elemanları birleşim noktalarının numaralandırılması b) Köprü elemanlarının numaralandırılması

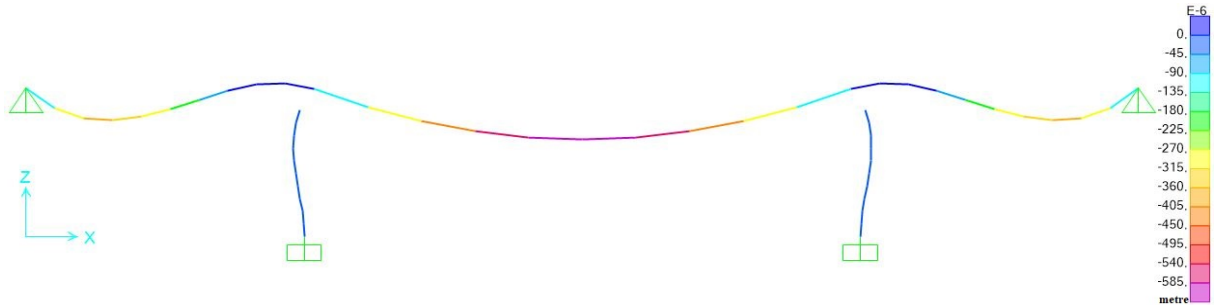
Köprü modeli z eksenine göre simetriktir. Karşılaştırma yapılan yükleme durumlarında; köprü üzerinden iki yönden, eşit sayıda ve eşit hızlarda kamyonlar geçirilmiştir. Bu yüzden analiz sonucu, köprü modelindeki bazı noktalarda ve elemanlardaki karşılaştırma yapılan değerler benzerlik göstermiştir. 1’inci ve 3’üncü noktalarda bütün öteleme ve dönmelere karşı kısıtlı olduğu için bu noktalarda deformasyon değerleri karşılaştırılmamıştır. Köprüdeki bütün noktalarda ve elemanların belirli konumlarında, z eksen yönünde oluşan deformasyonlar negatif yöndedir. 2’nci, 4’üncü, 6’ncı ve 7’nci noktalarda z eksen yönünde oluşan yer değiştirmeler eşittir. Bu noktalarda oluşan x eksen yönündeki yer değiştirmelerin mutlak değerleri de eşittir ve analiz süresi içerisinde iki yönde de yer değiştirmeler görülmüştür. Fakat köprü ayakları ve köprü tabliyesi, x eksenine göre öteleme yapamayacağı için yer değiştirme değerleri çok küçüktür. 5’inci ve 8’inci noktaları dönmeye serbest bırakıldığı için bu noktalarda dönme değerleri karşılaştırılmıştır. 5’inci ve 8’inci noktalardaki dönme değerleri mutlak olarak eşit ama farklı yöndedir.

3.1. Taşıt hızına göre yükleme durumları

3.1.1. Deformasyon açısından karşılaştırma

Köprü ayaklarında ve köprü elemanlarının birleşim noktalarında z eksen yönündeki yer değiştirme değerleri çok küçüktür. Fakat köprü açıklıklarında en büyük değerler görülmüştür. Bu yüzden köprü açıklıklarında, z eksen yönündeki yer değiştirmeler karşılaştırılmıştır.

Köprü yapısında z eksenindeki en büyük yer değiştirme değerleri kamyonların hızlarına göre değişmemiştir. Fakat köprü tabliyesinde herhangi bir noktada z eksenindeki en büyük yer değiştirme değerlerinin görülme süresi, kamyonların hızları arttıkça azalmaktadır. En büyük yer değiştirme orta açıklığın ortasında görülmüştür. Bu değer 0,0591 cm'dir. En büyük yer değiştirme değerleri açıklık ortasına doğru artmıştır (Şekil 7).

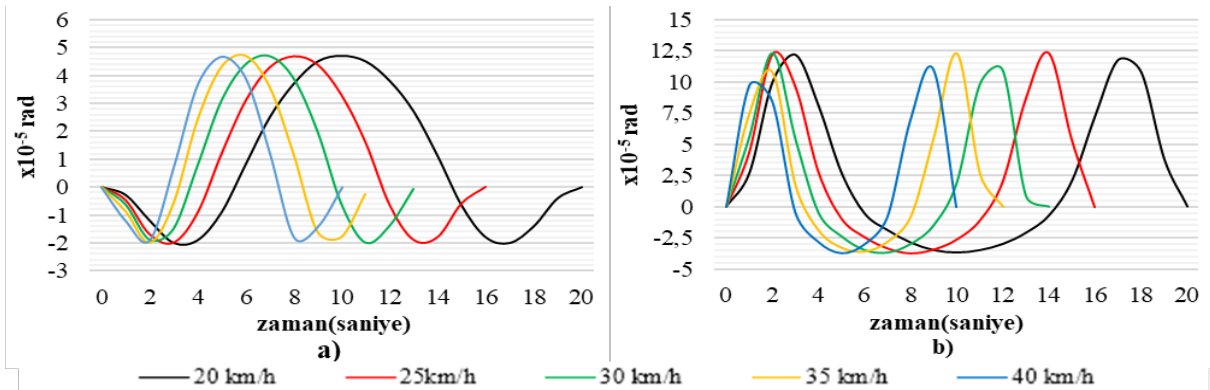


Şekil 7. Köprü yapısında, tüm taşıt hızlarına göre yükleme durumlarında z ekseninde oluşan en büyük yer değiştirmeler

Araç hızlarına göre yükleme durumlarında araç yükleme süreleri sırasıyla yaklaşık 20, 17, 15, 13 ve 10 saniyedir. Orta açıklıkta z eksenindeki en büyük yer değiştirme değeri kamyonların orta açıklığın ortasında konumlandığı zamanda görülmüştür. Kamyonlar orta açıklığın ortasına, yükleme süresinin yarısında ulaşmaktadır.

Köprü ayaklarında ve tabliyesinde y ekseninde mutlak en büyük dönme değeri $4,7 \times 10^{-5}$ radyan olarak köprünün 2'nci, 4'üncü, 6'ncı ve 7'nci noktalarında gerçekleşmiştir. Her iki yönde de dönme olmuştur (Şekil 8-a). Kamyonlar orta açıklığın ortasında olduğu anlarda bu değer görülmüştür.

Köprünün 5'nci ve 8'inci noktalarındaki mutlak maksimum dönme değerleri beş yükleme durumu için de farklılık göstermiştir. Kamyonlar köprü tabliyesine temas ettiğinde köprünün 5'inci ve 8'inci noktalarındaki en büyük dönme değerleri, daha hızlı kamyon yüklemelerinde azalmıştır. Fakat değerler birbirine çok yakındır. En büyük değer $12,3 \times 10^{-5}$ radyandır. Her iki yönde de dönme olmuştur (Şekil 8-b). En büyük değerler kamyonların köprüye giriş ve çıkış anlarında görülmüştür.

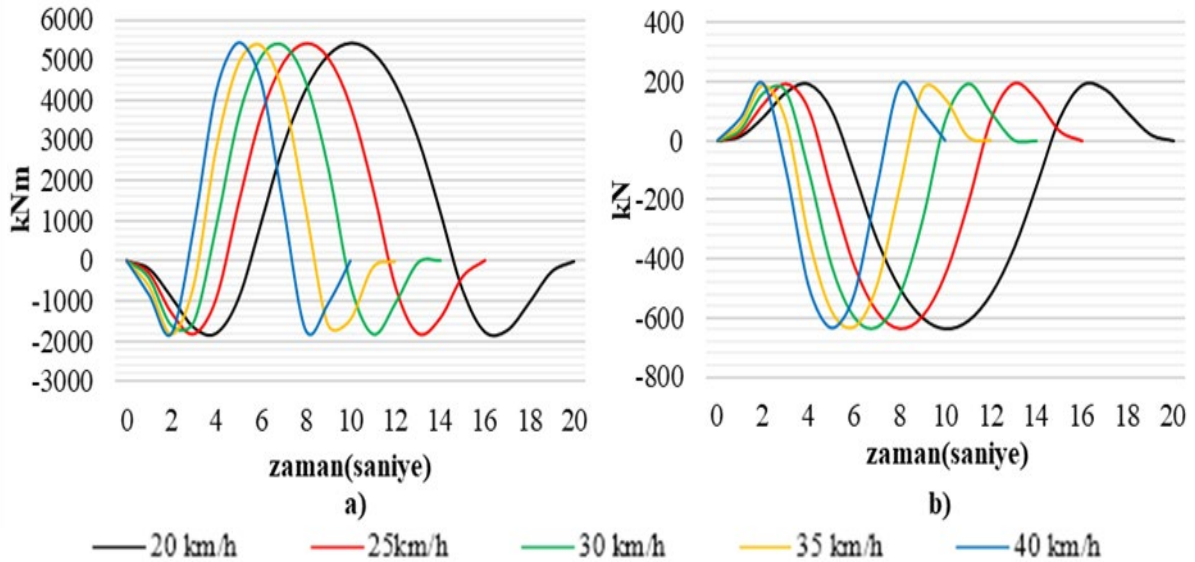


Şekil 8. Köprü yapısında y eksenindeki dönmeler a) 2'nci ve 6'nci noktalarındaki dönme b) 5'inci noktasındaki dönme

3.1.2. Moment ve kesme kuvveti açısından karşılaştırma

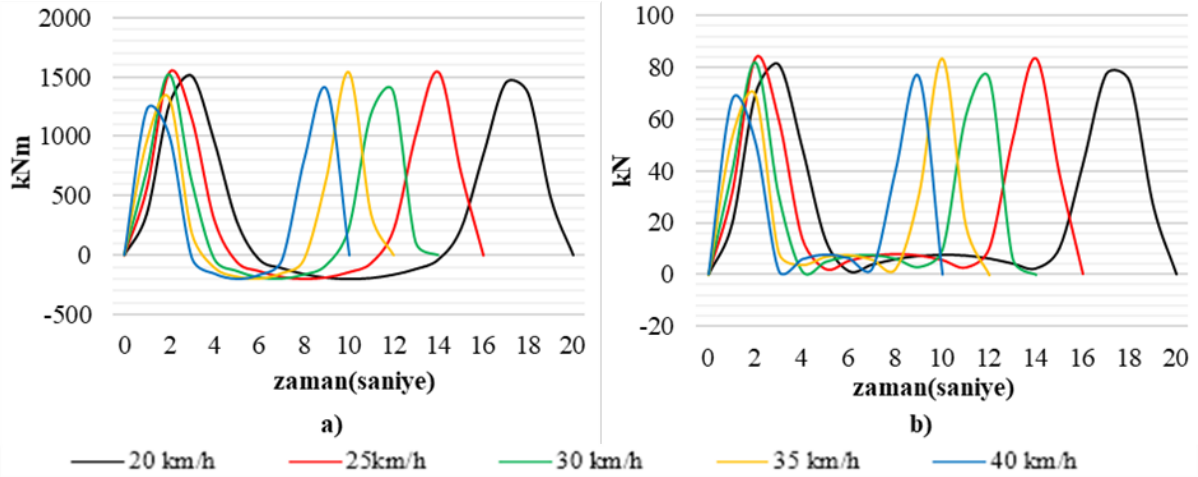
Köprü yapısında oluşan en büyük eğilme momenti ve kesme kuvveti değerleri köprü elemanlarının birleşim noktalarında görülmüştür. Köprü tabliyesinde en büyük eğilme momenti ve kesme kuvveti değeri 3 numaralı elemanın 0 metre konumunda görülmüştür. Köprü ayaklarında en büyük eğilme momenti ve kesme kuvveti değeri 1 ve 2 numaralı elemanların 12 metre konumlarında görülmüştür. Karşılaştırmalar bu noktalara göre yapılmıştır.

Köprü ayaklarında eğilme momenti ve kesme kuvvetinin maksimum olduğu noktalar, ayakların tabliyeyle birleştiği noktalardır. Kamyon hızları arttıkça mutlak en büyük kesme kuvveti ve eğilme momenti değerleri neredeyse değişmemiştir. Mutlak en büyük eğilme momenti ve kesme kuvveti değeri 20 km/h hızdaki kamyonların tanımlandığı yükleme durumunda görülmüştür ve eğilme momenti değeri 5424,18 kNm olarak, kesme kuvveti değeri ise 636,08 kN olarak görülmüştür (Şekil 9). Her iki kamyon, köprünün orta açıklığının ortasında olduğunda mutlak en büyük eğilme momenti ve kesme kuvveti değerleri görülmüştür. Köprü ayaklarındaki mutlak en büyük eğilme momenti değeri; ayakların orta noktasında, uç noktalarına göre daha küçüktür. Köprü ayaklarındaki mutlak en büyük kesme kuvveti değeri, ayakların her noktasında aynıdır. Köprü ayaklarında karşılaştırma yapılan noktalarda her iki yönde kesme kuvveti ve eğilme momenti görülmüştür.



Şekil 9. Köprü ayağındaki eğilme momenti ve kesme kuvveti a) Eğilme momenti b) Kesme kuvveti

Kamyon hızları arttıkça açıklıklarda, mutlak en büyük kesme kuvveti ve eğilme momenti değerleri neredeyse değişmemiştir. Mutlak en büyük eğilme momenti ve kesme kuvveti değeri 25 km/h hızdaki kamyonların tanımlandığı yükleme durumunda görülmüştür ve eğilme momenti değeri 1538,32 kNm olarak, kesme kuvveti değeri ise 83,38 kN olarak görülmüştür (Şekil 10). Kamyonların köprüye giriş ve çıkış anlarında mutlak en büyük eğilme momenti ve kesme kuvveti değerleri görülmüştür.

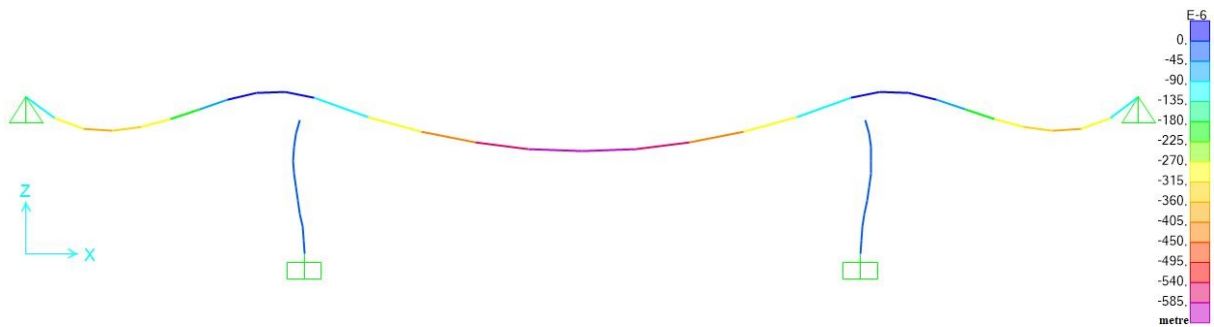


Şekil 10. Köprü tabliyesindeki eğilme momenti ve kesme kuvveti a) Eğilme momenti b) Kesme kuvveti

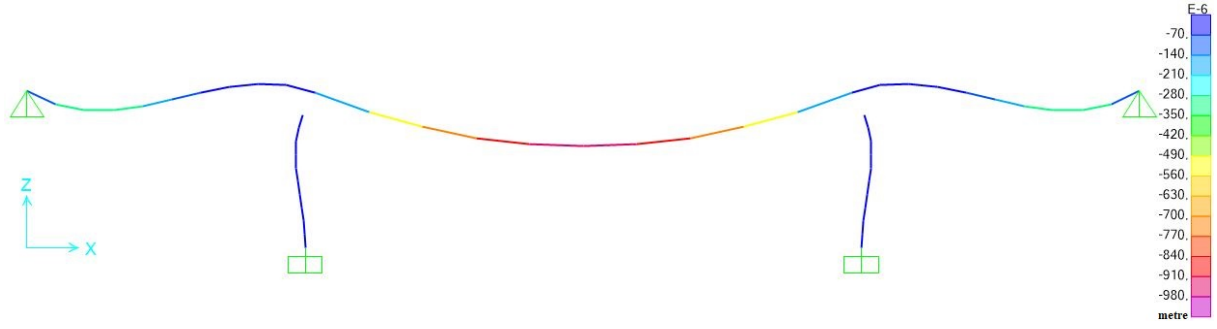
3.2. Taşıt sayısına göre yükleme durumu

3.2.1. Deformasyon açısından karşılaştırma

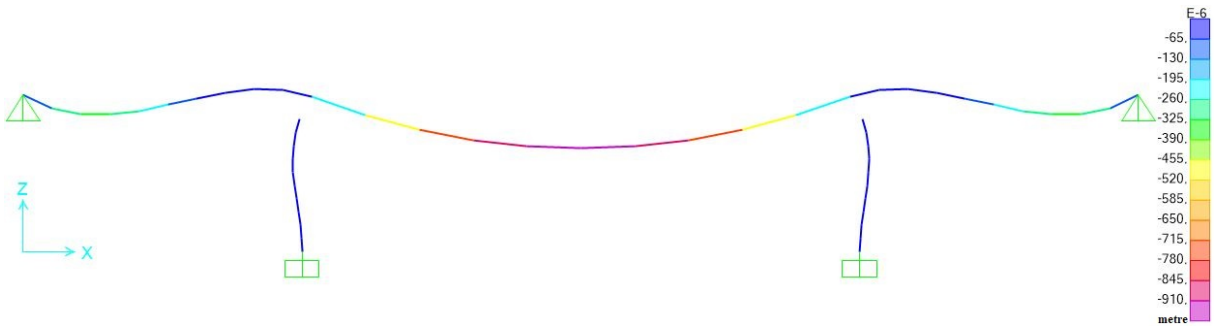
Köprü yapısında z eksenindeki en büyük yer değiştirmeler, kamyon sayılarına göre değişmiştir. En büyük yer değiştirme değerleri, orta açıklığın ortasında görülmüştür. Bu değerler araç sayısına göre yükleme durumlarında; 2 araç için 0,0591 cm, 4 araç için 0,0972 cm, 6 araç için 0,0936 cm, 8 araç için 0,0808 cm ve 10 araç için 0,0811 cm olarak görülmüştür. Kamyonlar orta açıklığın ortasında konumlandığında bu değerler görülmüştür. Fakat araç sayısı arttıkça yükleme süresinin yarısında, araçlar orta açıklığın başlangıç ve bitiş noktalarına daha yakın konumlanmıştır. Bu durumda deformasyon değerleri azalmıştır. Eğer orta açıklık daha uzun olsaydı araç sayısının artışıyla açıklık ortasındaki, z eksenindeki en büyük yer değiştirme değerlerinin büyüyeceği de öngörülmüştür. Yan açıklıkların ortasında iki şeritte yan yana araçların konumlandığı tek durum 10 araç geçirilmesi durumudur. Bu yüzden yan açıklıklarda, z ekseninde en büyük yer değiştirme değeri diğer durumlarda birbirine yakın görülmüştür. Şekil 11, Şekil 12, Şekil 13, Şekil 14 ve Şekil 15'de farklı sayıda araç yüklemesi durumları için köprü yapısında oluşan z eksenindeki deformasyon değerleri renk konturuyula verilmiştir. Araç sayısına göre yükleme durumlarında yükleme süreleri sırasıyla 37, 45, 53, 61 ve 69 saniye sürmüştür.



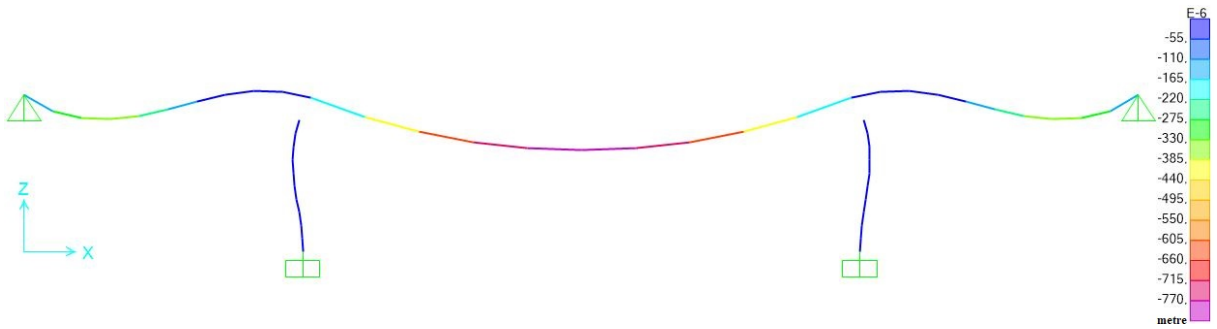
Şekil 11. Köprü üzerinden 2 araç geçirildiğinde köprü yapısında, z eksenindeki yer değiştirmeler



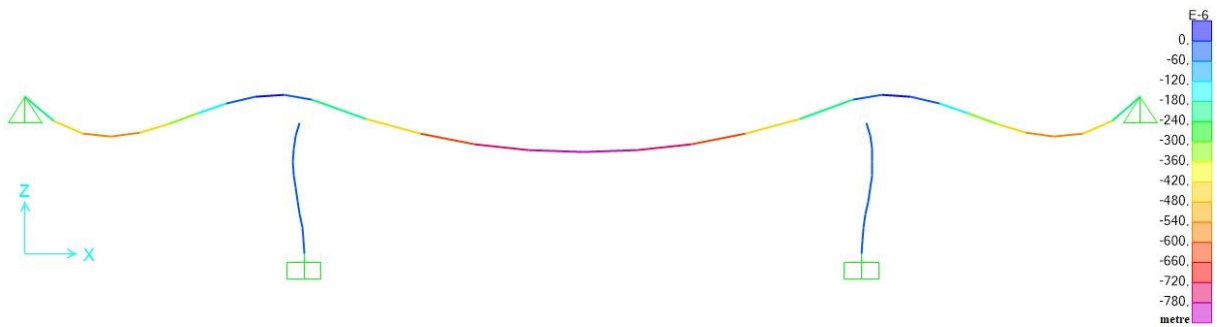
Şekil 12. Köprü üzerinden 4 araç geçirildiğinde köprü yapısında, z eksenindeki yer değiştirmeler



Şekil 13. Köprü üzerinden 6 araç geçirildiğinde köprü yapısında, z eksenindeki yer değiştirmeler



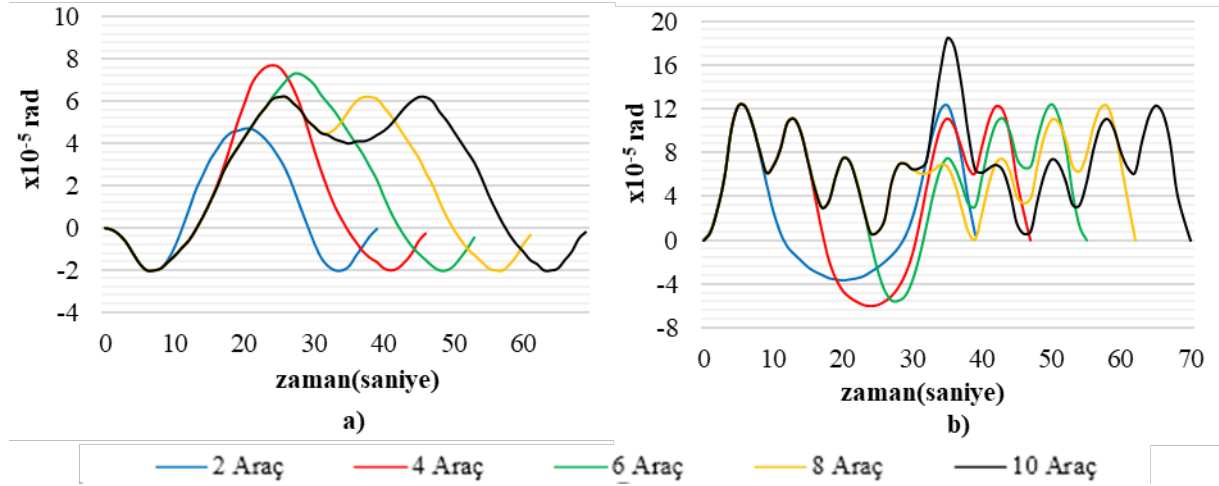
Şekil 14. Köprü üzerinden 8 araç geçirildiğinde köprü yapısında, z eksenindeki yer değiştirmeler



Şekil 15. Köprü üzerinden 10 araç geçirildiğinde köprü yapısında, z eksenindeki yer değiştirmeler

Köprü ayaklarında ve tabliyesinde y ekseninde mutlak en büyük dönme $7,7 \times 10^{-5}$ radyan olarak köprünün 2'nci, 4'üncü, 6'ncı ve 7'nci noktalarında görülmüştür. Bu değer köprü üzerinden 4 araç geçirilmesi durumunda görülmüştür. Köprü ayakları ve tabliyesinde y eksenindeki mutlak maksimum dönme değeri, kamyon sayısına bağlı düzenli bir artış veya azalış göstermemiştir. Her iki yönde de dönme olmuştur (Şekil 16-a).

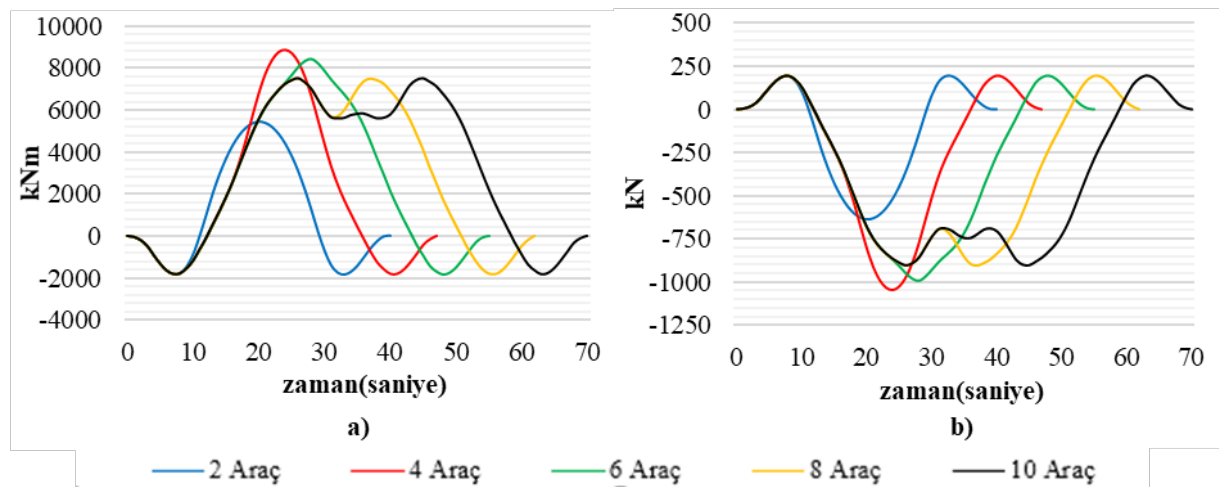
Köprünün 5'nci ve 8'inci noktalarındaki mutlak maksimum dönme değerleri, 2 araç, 4 araç, 6 araç ve 8 araç geçirildiği yüklenme durumları için aynıdır. Fakat 10 araç geçildiğinde bu değer artmıştır. En büyük değer $18,4 \times 10^{-5}$ radyandır. Her iki yönde de dönme olmuştur (Şekil 16-b). Bu değerler kamyonların köprüye giriş ve çıkış anlarında görülmüştür. Kamyonların, yan açıklık üzerinde köprünün karayolu ile birleşen noktasına yakın olduğu anlarda mutlak maksimum yer değiştirme değerleri görülmüştür.



Şekil 16. Köprü yapısında y eksenindeki dönmeler a) 2'nci ve 6'ncı noktalarındaki dönme b) 5'inci noktasındaki dönme

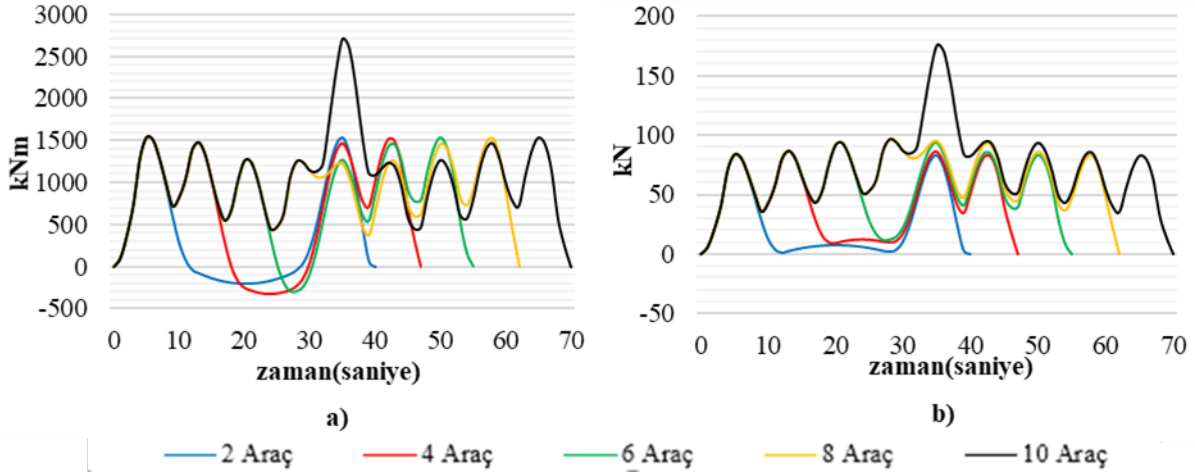
3.2.2. Moment ve kesme kuvveti açısından karşılaştırma

Kamyon sayısına bağlı olarak köprü ayaklarında mutlak maksimum eğilme momenti ve kesme kuvveti değerleri düzenli bir artış veya azalış göstermemiştir. Orta açıklık üzerindeki kamyon sayısı maksimum miktarda olduktan sonra mutlak maksimum kesme kuvveti ve moment değerleri değişmemiştir. Bu durum köprü üzerinde 8 araç ve 10 araç geçirilmesi durumunda görülmüştür. Fakat araç sayısı arttıkça maksimum değerlerin görülme süresi artmıştır. En büyük mutlak maksimum eğilme momenti ve kesme kuvveti değeri köprü üzerinden 4 araç geçirilmesi durumunda görülmüştür. Bu koşuldaki maksimum mutlak eğilme momenti değeri 8782,56 kNm ve mutlak maksimum kesme kuvveti değeri ise 1030,26 kN'dur. (Şekil 17).



Şekil 17. Köprü ayağındaki eğilme momenti ve kesme kuvveti a) Eğilme momenti b) Kesme kuvveti

Köprü tabliyesindeki eğilme momenti ve kesme kuvvetinin maksimum olduğu noktalar, köprü tabliyesinin karayolu ile bağlandığı noktalardır. Köprü üzerinden 10 araç geçirilmesi durumu haricinde diğer durumlarda, köprü tabliyesinde mutlak maksimum eğilme momenti ve kesme kuvveti değerleri birbirine çok yakındır. 10 araç geçirilmesi durumunda, köprü tabliyesindeki mutlak maksimum eğilme momenti değeri 2704,06 kNm ve kesme kuvveti değeri 175,77 kN'dur. Bu değerler yükleme süresinin yarısında görülmüştür (Şekil 18).

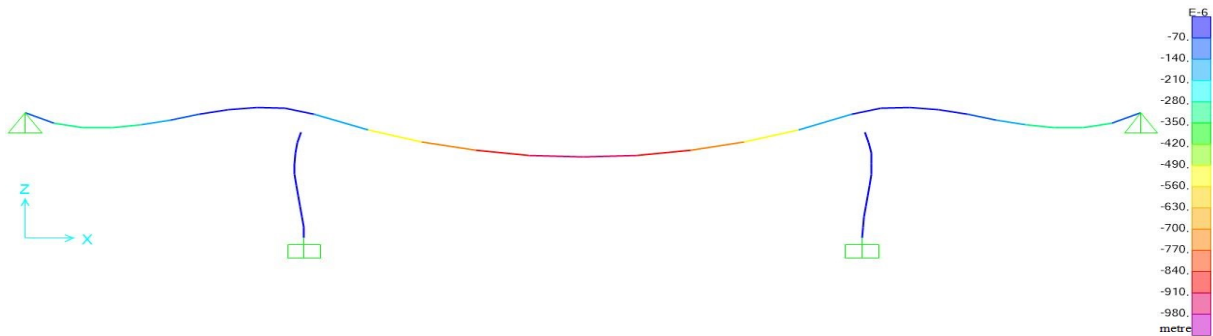


Şekil 18. Köprü tabliyesindeki eğilme momenti ve kesme kuvveti a) Eğilme momenti b) Kesme kuvveti

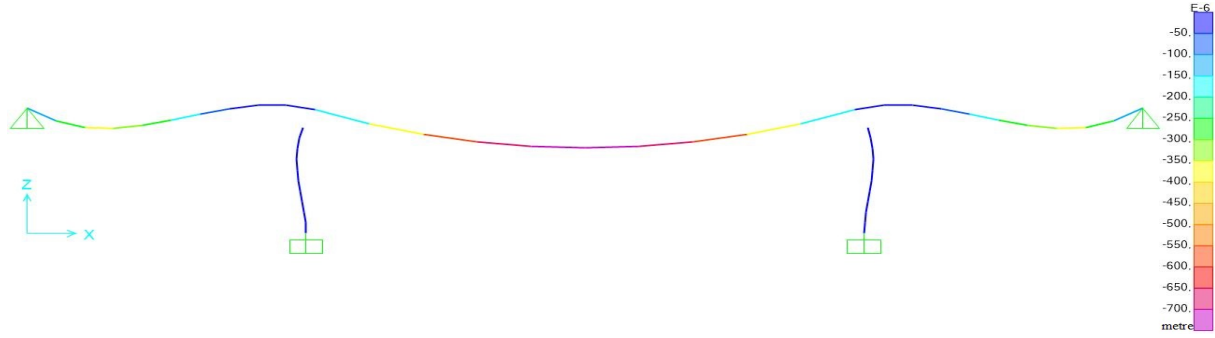
3.3. Araç takip mesafesine göre yükleme durumları

3.3.1. Deformasyon açısından karşılaştırma

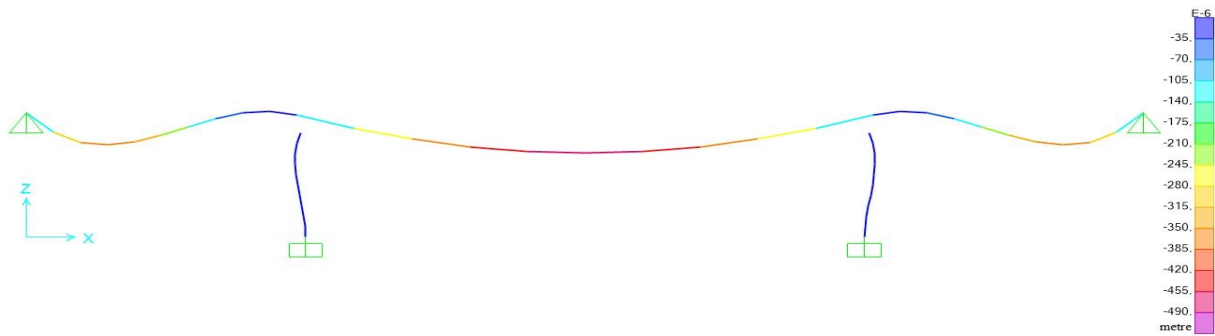
Köprü yapısında z eksenindeki en büyük yer değiştirmeler araç takip mesafelerine göre değişmiştir. En büyük yer değiştirme değerleri orta açıklığın ortasında görülmüştür. Bu değerler araç takip mesafesine göre yükleme durumlarında 10 metre takip mesafesi için 0,0972 cm, 20 metre takip mesafesi için 0,0725 cm, 30 metre takip mesafesi için 0,0487 cm, 40 metre takip mesafesi için 0,0597 cm ve 50 metre takip mesafesi için 0,06 cm olarak görülmüştür. Kamyonlar orta açıklığın ortasında konumlandığında bu değerler görülmüştür. Eğer orta açıklık daha uzun olsaydı takip mesafesinin artışıyla açıklık ortasındaki, z eksenindeki en büyük yer değiştirme değerlerinin düzenli olarak küçüleceği öngörülmüştür. Yan açıklıkların ortasında; z eksenindeki en büyük yer değiştirme değerleri tüm durumlar için birbirine yakındır. Şekil 19, Şekil 20, Şekil 21, Şekil 22 ve Şekil 23'te farklı takip mesafelerinde araç yüklemesi durumları için köprü yapısında oluşan z eksenindeki deformasyon değerleri renk konturuyula verilmiştir. Araç takip mesafesine göre yükleme durumlarında yükleme süreleri sırasıyla 47, 51, 54, 58 ve 62 saniye sürmüştür.



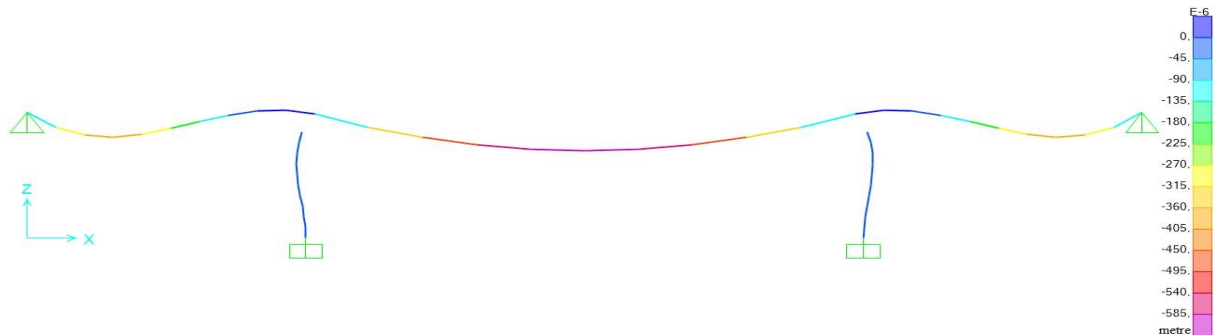
Şekil 19. Araç takip mesafesi 10 metre olduğunda köprü yapısında, z eksenindeki yer değiştirmeler



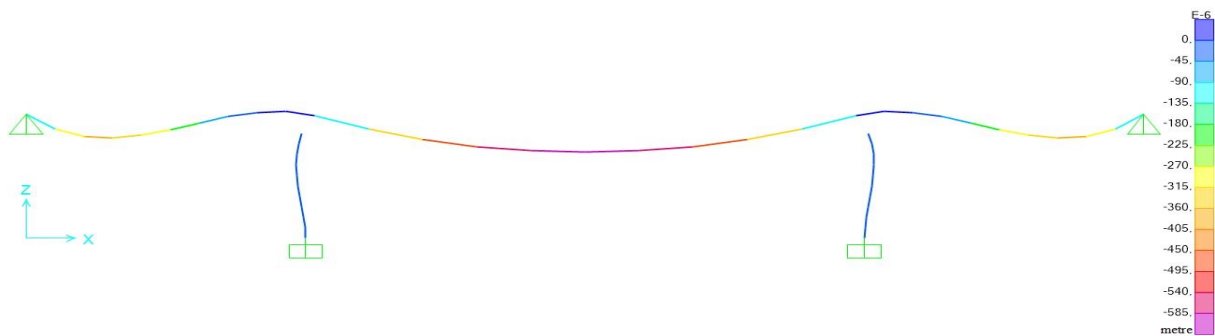
Şekil 20. Araç takip mesafesi 20 metre olduğunda köprü yapısında, z eksenindeki yer değiştirmeler



Şekil 21. Araç takip mesafesi 30 metre olduğunda köprü yapısında, z eksenindeki yer değiştirmeler



Şekil 22. Araç takip mesafesi 40 metre olduğunda köprü yapısında, z eksenindeki yer değiştirmeler

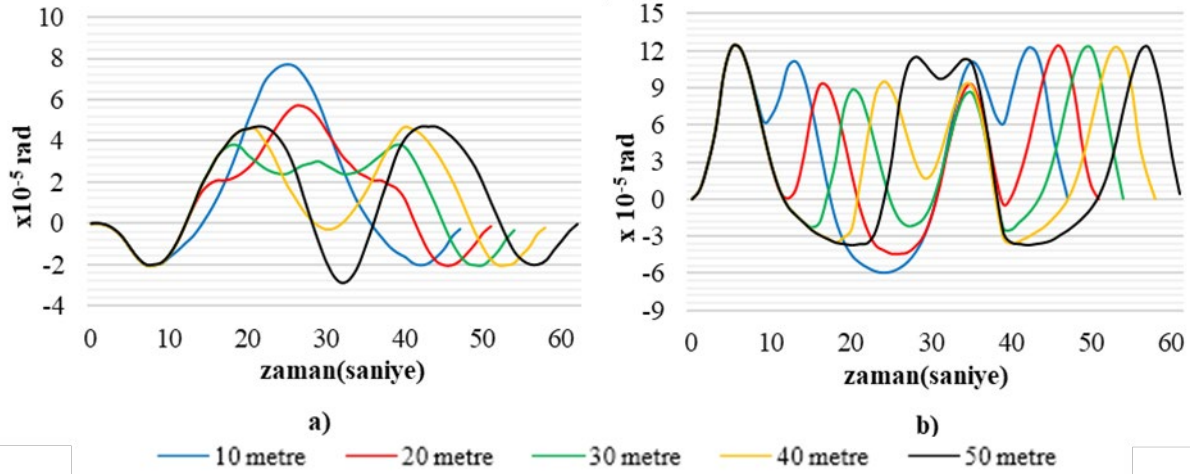


Şekil 23. Araç takip mesafesi 50 metre olduğunda köprü yapısında, z eksenindeki yer değiştirmeler

Köprü ayaklarında ve tabliyesinde y ekseninde mutlak en büyük dönme $7,7 \times 10^{-5}$ radyan olarak 2'nci, 4'üncü, 6'ncı ve 7'nci noktalarda görülmüştür. Bu değer köprü üzerinden 10 metre takip mesafesinde kamyonlar geçirildiği durumda görülmüştür. Köprü ayakları ve tabliyesinde y eksenini

yönündeki mutlak maksimum dönme değeri, araç takip mesafesinin artmasına bağlı olarak düzenli bir artış veya azalış göstermemiştir. Her iki yönde de dönme olmuştur (Şekil 24-a).

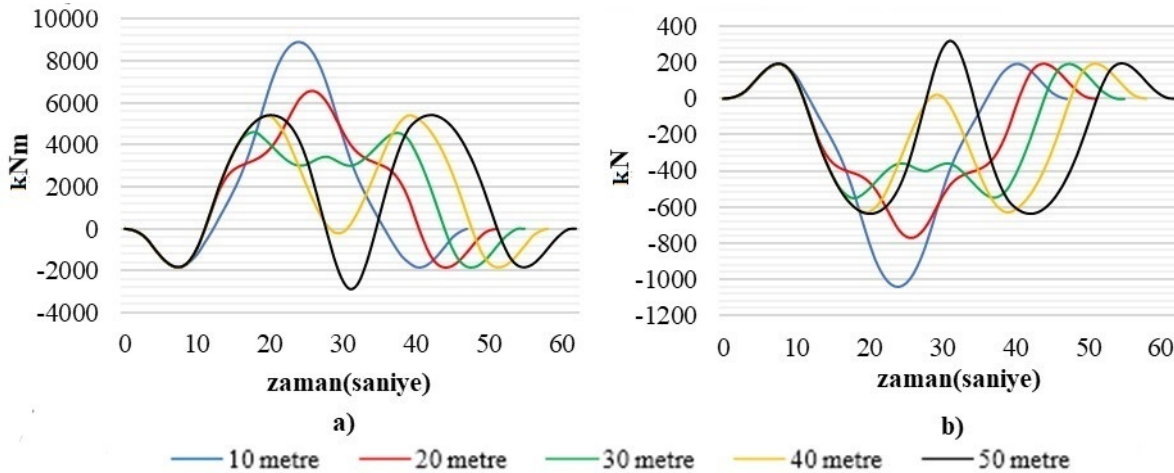
Köprü'nün 5'nci ve 8'inci noktalarındaki mutlak maksimum dönme değerleri, araç takip mesafesine göre yükleme durumları için aynıdır. En büyük mutlak maksimum dönme değeri $12,3 \times 10^{-5}$ radyandır (Şekil 24-b).



Şekil 24. Köprü yapısında y ekseninde dönmeler a) 2'nci ve 6'nci noktalarındaki dönme b) 5'inci noktasındaki dönme

3.3.2. Moment ve kesme kuvveti açısından karşılaştırma

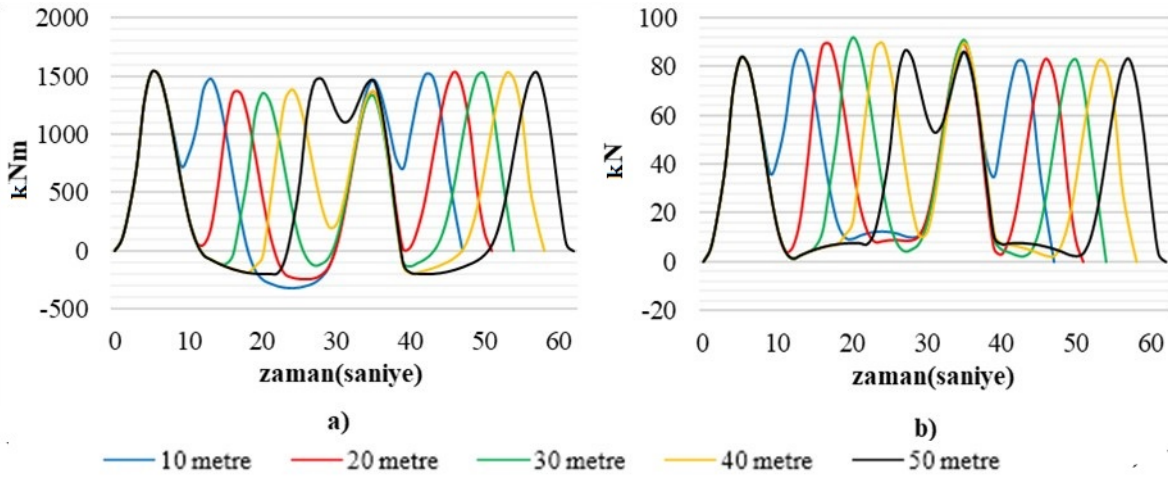
Araç takip mesafesinin artışına bağlı olarak köprü ayaklarında, mutlak maksimum eğilme momenti ve kesme kuvveti değerleri düzenli bir artış veya azalış göstermemiştir. En büyük mutlak maksimum eğilme momenti ve kesme kuvveti değeri 10 metre takip mesafesi yükleme durumunda olup eğilme momenti değeri 8887,93 kNm ve kesme kuvveti değeri ise 1042,61 kN'dur (Şekil 25).



Şekil 25. Köprü ayağındaki eğilme momenti ve kesme kuvveti a) Eğilme momenti b) Kesme kuvveti

Köprü tabliyesinde araç takip mesafesinin artışına bağlı olarak eğilme momentinin mutlak maksimum değeri değişmemiştir ve bu değer 6'ncı saniye içerisinde 1538,86 kNm olarak görülmüştür (Şekil 26-a)

Köprü tabliyesinde mutlak maksimum kesme kuvveti değeri takip mesafesinin artışına bağlı olarak düzenli bir artış veya azalış göstermemiştir. En büyük mutlak maksimum kesme kuvveti değeri 30 metre takip mesafesinde görülmüş olup bu değer 92,03 kN'dur (Şekil 26-b).



Şekil 26. Köprü tabliyesindeki eğilme momenti ve kesme kuvveti a) Eğilme momenti b) Kesme kuvveti

4. Sonuçlar

Bu çalışmada sandık kesitli betonarme bir köprünün; taşıt yükü etkisinde köprü yapısında meydana gelen deformasyonlar, kesme kuvvetleri ve eğilme momentleri incelenmiştir. Köprü üzerinden geçirilen taşıtların hızları, adetleri ve taşıtlar arasındaki araç takip mesafelerine göre yükleme durumları oluşturulmuştur. İncelenen değerler karşılaştırılarak grafiklerle ve şekillerle ifade edilmiştir. Yapılan bu karşılaştırmaların sonuçları bu bölümde verilmektedir.

- Köprüde z ekseninde en büyük yer değiştirmeler, köprü açıklıklarında görülmüştür. Değerler açıklık ortasına doğru büyümüştür. En büyük değer orta açıklığın ortasında görülmüştür.
- Köprü ayaklarında en büyük eğilme momenti değerleri tabliye ile birleşim noktasında görülmüştür. Bu değer köprü ayağının ortasına doğru azalmakta fakat zeminle birleşim noktasına doğru artmıştır.
- Köprü ayaklarında mutlak en büyük kesme kuvveti değeri ayakların her noktasında aynıdır.
- Taşıt hızı arttıkça z ekseninde, orta açıklığın ortasındaki en büyük yer değiştirme değerleri değişmemiştir. Fakat bu değerlerin görüldüğü zaman aralıkları değişmiştir.
- Taşıt hızı arttıkça z ekseninde orta açıklığın ortasındaki en büyük yer değiştirme değerlerinin ilk görülme anı giderek daha erken olmuştur. Bu yüzden köprü yapısının, taşıt hızı arttıkça daha fazla yorulacağı öngörülmüştür.
- Taşıt hızı arttıkça köprü ayaklarının tabliye ile birleştiği noktadaki en büyük dönme değerleri değişmemiştir. Fakat bu değerlerin görüldüğü zaman aralıkları değişmiştir.
- Taşıt hızı arttıkça köprü tabliyesinin karayolu ile birleştiği noktalardaki en büyük dönme değerleri düzenli bir artış veya azalış göstermemiştir. Her durum için birbirine yakın fakat farklı sonuçlar elde edilmiştir.

- Köprü ayaklarında en büyük eğilme momenti ve kesme kuvveti değerleri taşıt hızının artmasıyla düzenli bir artış veya azalış göstermemiştir. Fakat bu değerlerin görüldüğü zamanlar değişmektedir.
- Taşıt sayısı arttıkça z ekseninde, orta açıklığın ortasındaki en büyük yer değiştirme değerleri düzenli bir artış veya azalış göstermemiştir. Eğer orta açıklık daha uzun olsaydı araç sayısının artışıyla açıklık ortasındaki, z eksenindeki mutlak en büyük yer değiştirme değerlerinin büyüyeceği ön görülmüştür.
- Taşıt sayısı arttıkça köprü ayaklarının tabliye ile birleştiği noktalardaki en büyük dönme değerleri düzenli bir artış veya azalış göstermemiştir. 2 araç geçirilmesi durumunda en büyük dönme değerleri diğer koşullara göre çok daha düşüktür.
- Taşıt sayısı arttıkça köprü tabliyesinin karayolu ile birleştiği noktalardaki en büyük dönme değerleri düzenli bir artış veya azalış göstermemiştir. 10 araç geçirilmesi durumunda en büyük dönme değerleri diğer koşullara göre çok daha büyüktür. Yan açıklıklardan analiz süresi içerisinde ne kadar çok kamyon aynı anda geçerse bu değer artacağı ön görülmüştür.
- Taşıt sayısına göre yükleme durumlarında köprü ayaklarında, köprü üzerinden 2 araç geçirilmesi durumunda en büyük eğilme momenti ve kesme kuvveti değerleri diğer koşullara göre çok daha düşüktür. Köprü üzerinden 4 araç geçirilmesi durumunda ise diğer koşullardan çok daha fazla değerler görülmüştür. Köprü tabliyesinde ise köprü üzerinden 10 araç geçirilmesi koşulu için değer çok fazlayken diğer koşullarda değerler çok yakındır.
- Araç takip mesafesinin değişimiyle oluşturulan durumlarda; köprü yapısında görülen en büyük deformasyon, eğilme momenti ve kesme kuvveti değerleri karşılaştırıldığında takip mesafesinin artmasıyla bu değerler düzenli artış veya azalış göstermemiştir. Takip mesafesi ne kadar az olursa köprü yapısında oluşturduğu etkilerin kısa zamanda daha büyük olacağı ön görülmüştür.

Literatürde sandık kesitli betonarme köprüler için farklı trafik koşullarında zaman tanım alanında taşıt yükü için yapılan analizlerin olduğu çalışmalara rastlanmamıştır. Fakat öngörülen beton köprüler ve asma köprüler için yapılan çalışmalara rastlanmıştır. Fatih Sultan Mehmet Köprüsü için 3 farklı taşıt yükleme durumu oluşturularak zaman tanım alanında analizler yapılmıştır. İki yönden on ikişer adet 30 tonluk kamyonların köprü üzerinden geçirildiği yükleme durumunda, en büyük yer değiştirmenin olduğu köprü ortasındaki z eksen yönündeki yer değişime değerlerinin, kamyon hızlarına göre düzenli bir şekilde değişmediği görülmüştür. Yer değiştirme değerlerinin zamana göre değişimi grafiklerle gösterilmiştir [17]. Farklı türde köprüler üzerine çalışılmasına rağmen yer değişime değerlerinin taşıt hızına göre değişimi benzerlik göstermiştir. Sandık kesitli köprü için yapılan çalışma ile taşıt sayısı ve takip mesafesine göre farklı taşıt yükleme durumları oluşturularak farklı açılardan da sonuçlar ortaya koyulmuştur.

Literatürde en elverişsiz koşulda köprüde oluşan maksimum ve minimum etkilerin görülebildiği hareketli yük analizine dair çalışmalar vardır. Yapılan çalışmalarda köprüde oluşan kesme kuvveti, eğilme momenti ve burulma momenti değerleri incelenmiştir. Bu çalışmayla kesme kuvveti ve eğilme momenti değerlerinin zamana göre değişimi farklı taşıt yükleme durumları için ortaya koyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Tümertekin E. Ulaşım coğrafyası. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Yayınları; 1987.
- [2] Ekiz İ. Sandık kesitli köprülerin hesap metotları ve bilgisayar uygulaması. Yüksek lisans tezi. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi; 1976.
- [3] Celasun H. Sandık Kesitli Kirişlerin Hesabı-BEF Analojisi. İstanbul Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi Dergisi 1978;4.
- [4] Polat Z. Depreme Dayanıklı Köprü Mühendisliğinde Kavramsal Tasarım. Köprü Sempozyumu, İstanbul; 2018.
- [5] Bridge Design Specifications, American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO LRFD; 1998.
- [6] Introduction to LRFD-Load and Load Distribution, Federal Highway Administration, FHWA.
- [7] Yağoobi W. Kutu Kesitli Ardgerilmeli Köprülerin Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Davranışlarının Belirlenmesi. Yüksek lisans tezi. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi; 2020.
- [8] Alemdar ZF. Betonarme Köprü Kolonlarında Plastik Mafsallı Bölgelerinin Modellenmesi. İmo Teknik Dergi 2015; yazı. 444:7279-7286.
- [9] Priestley MJN., Seible F., Calvi GM. Seismic design and retrofit of bridges. New York: Wiley; 1996.
- [10] Gülhan İE. Öngerilmeli Betondan Sandık Kesitli Köprülerin Yapay Sinir Ağları ile Analizi. Yüksek lisans tezi. Kayseri: Erciyes Üniversitesi; 2005.
- [11] Uluğ Nİ. Öngerilmeli Bir Köprü Tasarımı ve Performans Değerlendirilmesi. Yüksek lisans tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi; 2008.
- [12] Celasun H. Betonarme Köprüler ve Hesap Metodları. İstanbul: Çağlayan Yayınları; 1974.
- [13] Celasun H. Betonarme Yapılar. İstanbul Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi Yayınları 1980;156.
- [14] Ekiz İ. Çözümlü Köprü Problemleri. İstanbul: Çağlayan Yayınları; 1981.
- [15] Taly N. Design of Modern Highway Bridges. New York; Mc Graw-Hill Publication; 1998.
- [16] S. Bostan, "Kutu kesitli karayolu köprülerinde en kesit şeklinin dinamik davranışa etkisi", Yüksek lisans tezi. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi; 2019.
- [17] Mubuli A. Fatih Sultan Mehmet Asma Köprüsünün Deprem ve Taşıt Yükleri Altında Yapısal Davranışının Belirlenmesi. Yüksek lisans tezi. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi; 2016.

ANSYS@MAXWELL KULLANILARAK TRANSFORMATÖRLERİN ANİ AKIMLAR DURUMUNDA MEYDANA GELEN ELEKTRİK ALAN ANALİZLERİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Yıldırım ÖZÜPAK^{1*}

¹ Dicle Üniversitesi, Silvan MYO, Elektrik ve Enerji Bölümü, Diyarbakır, 21000, Türkiye
Geliş tarihi: 11.01.2021 Kabul tarihi: 25.01.2021

ÖZET

Transformatörlerin sargılarında beklenmedik bir anda oluşan aşırı gerilim ve akımlara karşı transformatörün mekanik açıdan dayanıklılığının tahmin edilebilmesi, transformatör üreticileri için tasarım sürecinde kullanıcılar için de üretimden sonraki süreçte çok önemlidir. Bu yüksek gerilim ve akımlara neden olan etkenler yıldırım-darbesi ve kısa devre arıza akımlarıdır. Yüksek gerilime neden olan yıldırım darbesi elektrik güç sistemleri için çok önemli bir olgudur. Bu nedenle yıldırım darbe analizinin doğru gerçekleştirilmesi güç sistemlerinde son derecede önemlidir. Ani olarak meydana gelen yıldırım darbeleri durumunda transformatörlerin mekanik dayanımının sağlanabilmesi için tasarım sürecinde aşırı gerilimlere maruz kalan kısımların belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, Maxwell ortamında modellenen transformatörün, yıldırım darbesi durumundaki elektrik alan dağılımı, transformatörün sargılarında meydana gelen aşırı akımlar, transformatörün yalıtım malzemesinde meydana gelen zorlanmalar ve sargılardaki elektrik alan-gerilim dağılımı ilişkisi analiz edilmiştir. Bunun için Sonlu Elemanlar Yöntemi'ne (SEY) dayanarak çözüm gerçekleştiren ANSYS@Maxwell yazılım programı ile transformatörün 2D modeli kullanılarak elektrik alan analizleri gerçekleştirilmiştir. Burada trafonun hem normal çalışma koşullarında hemde yıldırım darbesi durumundaki analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu sayede, sargılardaki elektrik alan-gerilimi dağılımı, mekanik dayanımın az olduğu bölgeler tespit edilmiştir. Primer ve sekonder sargılar arasındaki yalıtım malzemelerinde bozulmaya neden olabilecek kritik bölgeler belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar deneysel ve teorik sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektrik alanı, Transformatör, SEY, Yıldırım-Darbesi

USING ANSYS@MAXWELL, THE REALIZATION OF THE ELECTRIC FIELD ANALYSIS OF TRANSFORMERS IN THE CASE OF INSTANT CURRENTS

ABSTRACT

The ability to predict the mechanical strength of the transformer against overvoltages and currents that occur unexpectedly in the windings of transformers is very important for transformer manufacturers in the design process and for users after production. The factors that cause these high voltages and currents are lightning-strikes and short-circuit fault currents. Lightning strike causing high voltage is a very important phenomenon for electrical power systems. For this reason, the correct performance of lightning impulse analysis is extremely important in difficult systems. In order to ensure the mechanical strength of the transformers in case of sudden lightning strikes, the parts exposed to excessive voltages must be determined during the design process. In this study, the electric field distribution of the transformer modeled in the Maxwell environment in the case of lightning strikes, the overcurrents in the transformer windings, the stresses in the transformer insulation material and the electric field-voltage distribution relationship in the windings are analyzed. For this, electric field analysis was performed by using 2D model of the transformer with ANSYS @ Maxwell software program, which realized a solution based on Finite Element Method (FEM). Here, analyzes of the transformer in both normal operating conditions and lightning strikes have been performed. In this way, the electric field-voltage distribution in the windings and the regions with low mechanical strength were determined. Critical areas that may cause deterioration in the insulation materials between primary and secondary windings have been determined. The results obtained were compared with the experimental and theoretical results.

Keywords: Electric field, Transformer, FEM, Lightning-impulse

* e-posta¹: yildirimoakupak@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8461-8702> (Sorumlu Yazar)

1. Giriş

Transformatörler, elektrik enerjisini farklı voltaj seviyelerinde kullanmak için çok önemli elektrik makineleridir. Transformatörler güç kapasitesi bakımından güç transformatörleri ve dağıtım transformatörleri olarak ikiye ayrılır.

Yıldırım darbesi, aşırı gerilim nedeniyle tüm elektrik güç sistemleri için çok önemli bir olgudur. Bu nedenle yıldırım darbe analizi, güç sistemlerini yıldırım hasarlarına karşı korumak için önemli bir çalışmadır. Literatürde simülasyon programları kullanılarak transformatörlerin yıldırım analizi ve yalıtım malzemeleri ile ilgili bazı çalışmalar bulunmaktadır.

Trafo sargıları üzerindeki yıldırım-darbe gerilim dağılımlarının analizlerini, azaltılmış ölçekli modele dayalı trafo sargılarındaki geçici aşırı gerilim dağılımının analizini, sonlu eleman modellerini ve geçici potansiyel ve alan dağılımının hesaplanması için yıldırım darbe testini içerir [1-5]. Güç transformatörlerinin sargı sisteminde, geçici rejim altında güç transformatöründe modelleme ve yalıtım tasarım metodolojisi, yıldırım darbesi modellemesi ve güç ve dağıtım transformatörlerinin simülasyonu gerçekleştirilmiştir [6-8]. Devre tekniğine bağlı SEY yıldırım darbesi altında bir güç trafosunun sargı ve yalıtım tasarımlarının geçici analizi için, yıldırım darbe analizi ile kuru tip bir transformatörün ayrıntılı bir modeli için birleştirilmiş analitik ve SEY yöntemleri incelenmiştir [9]. Yıldırım darbe analizi transformatör yağında yük taşımada iyonik ayrışma, güç aktarımında iç yalıtım tasarımı iyileştirmeleri için elektrik alan analizine sahip transformatörler, dağıtım güç transformatörleri aracılığıyla yıldırımın neden olduğu aşırı gerilimlerin hesaplanması gerçekleştirilmiştir.

Bu makalenin katkıları şunları içerir: Yıldırım darbesinin elektrik alan dağılımı üzerindeki etkisi ayrıntılı olarak tartışılmıştır. Sargının elektrik alan dağılımları araştırılmış ve 2-B sonlu elemanlar yöntemi (SEY) kullanılarak analiz edilmiştir. Yıldırım darbesinin elektrik alan dağılımına etkisi, daha önceki çalışmalarda araştırılmamış olan konularda ayrıntılı olarak tartışılmıştır. Aralıklı sargı yapısı, transformatörlerin kaçak endüktansını azaltabildiği görülmüştür. Elektrik alan dağılımı ve analiz sonuçlarının incelenmesi için önerilen yöntemin, transformatörlerde elektrik alan dağılımının iyileştirilmesine katkı sağlaması beklenmektedir.

2. Matematiksel Model ve Hesaplama Yöntemi

Elektrik alanın hesaplanması, transformatör sargısındaki yaklaşık yük yoğunluğuna dayanmaktadır. Yük dağılımını bulmak için yaklaşım fonksiyonları, farklı derecelerdeki polinom fonksiyonları olabilir [10]. Genellikle Nokta eşleştirme yöntemi kullanılır ve entegrasyon analitik olarak yapılır.

Green'in 2D Laplace denklemi için alan aşağıda verilmiştir [10]:

$$G(\vec{r}, \vec{r}') = \frac{1}{2\pi} \ln(|\vec{r} - \vec{r}'|) \quad (1)$$

Burada, \vec{r} bir hesaplama noktasının mesafesi ve \vec{r}' bir kaynak üzerindeki referans noktanın mesafesidir. Bu nedenle, elektrik alan potansiyeli $\varphi(\vec{r})$ şu şekilde ifade edilebilir:

$$\varphi(\vec{r}) = \int_{\Omega'} \frac{1}{2\pi} \sigma(\vec{r}') \ln\left(\frac{1}{|\vec{r} - \vec{r}'|}\right) d\Omega' \quad (2)$$

Burada $\sigma(\vec{r}')$ yüzey yükü yoğunluğunun dağılımı ve Ω' iki boyutlu elemanların yüzeyidir. Her sınır elemanında σ yük dağılımını bularak, sargının etrafındaki uzaydaki potansiyel ve elektrik alanını hesaplamak mümkündür.

Yüzey yükü yaklaşık olarak N temel fonksiyonları f_i ile hesaplanır:

$$\sigma(\xi) = \sum_1^N a_i f_i \xi \quad (3)$$

Burada a_i bilinmeyen katsayılardır. Bu katsayılar, nokta eşleştirme yöntemi kullanılarak bilinen potansiyelden elde edilir. Problem iki boyutlu olduğundan, (1) deki $|\vec{r} - \vec{r}'|$ şu şekilde yazılır:

$$|\vec{r} - \vec{r}'| = \sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2} \quad (4)$$

Doğrusal yaklaşım kullanılırken, temel fonksiyonlar $f_{1x} = x$, $f_{1y} = y$, $f_{2x} = 1 - x$ ve $f_{2y} = 1 - y$ 'dir.

Her bir bobin, hem radyal hem de aksel yönde dört segmente ayrılmıştır. Bu nedenle, on altı doğrusal eleman vardır.

Bilinmeyen katsayıları hesaplamak için çözülmesi gereken iki integral vardır. Analitik çözümleri appendiks A'da gösterilmektedir. İntegrallerin analitik çözümü, parçalarla ikame ve entegrasyon kullanılarak elde edilmektedir. Çözümün doğruluğu, matematiksel yazılımın sonuçları ve sayısal entegrasyonun sonuçlarıyla karşılaştırılarak doğrulanabilir.

Bilinmeyen yük yoğunluğu dağılımı elde edildikten sonra, herhangi bir \vec{r} noktasındaki potansiyel ve elektrik alan kuvveti belirlenebilir. Ayrıca, yük dağılımını elde ederek kapasitans matris elemanlarını aşağıdaki gibi hesaplamak da mümkündür [10]:

$$C_{ij} = \frac{Q_{ij}}{\varphi_i - \varphi_j} \quad i \neq j. \quad (5)$$

Burada φ_i ve φ_j , i-th ve j-th iletkeninin potansiyelleridir Q_{ij} , i-th iletkenindeki yükten etkilenen j-th iletkeni üzerindeki toplam yükür.

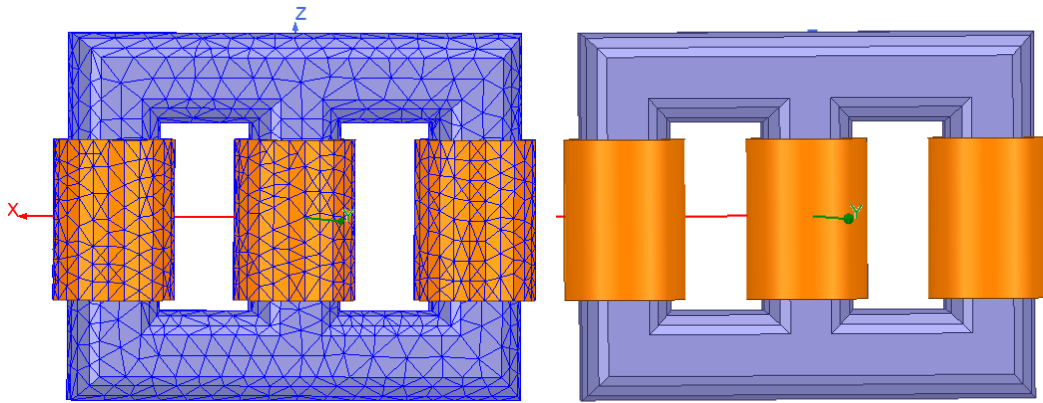
$$Q_{ij} = \int_{\Omega_j} \sigma_j d\Omega_j = \sum_{k=1}^N \sigma_{kj} d\Omega_{kj} \quad (6)$$

Burada σ_{kj} , j-th iletkeninin k-th segmentindeki yüzey yükü yoğunluğu ve Ω_{kj} yüzeyidir, N ise j-th iletkeninin sonlu segmentlerinin sayısıdır.

3. Ansys@Maxwell Ortamında Transformatörün Modellenmesi

Bu çalışmada ANSYS Maxwell simülasyon programı kullanılarak 15MVA güç kapasiteli bir kuru tip dağıtım trafosunun yıldırım elektrik alan analizi gerçekleştirilmiştir.

Bir transformatörün yıldırım darbe analizinde, primer sargıya 1000 kV'luk bir uyarı ile yıldırım darbesi uygulanır. Yıldırım analizinin çözüm türü elektrik geçişine ayarlanmıştır. Tasarlanan model 50 μ s zaman aralığında 1 μ s zaman adımında analiz edilir. Tasarlanan güç transformatörünün ANSY@Maxwell ile trafo modeli Şekil 1'de verilmiştir.



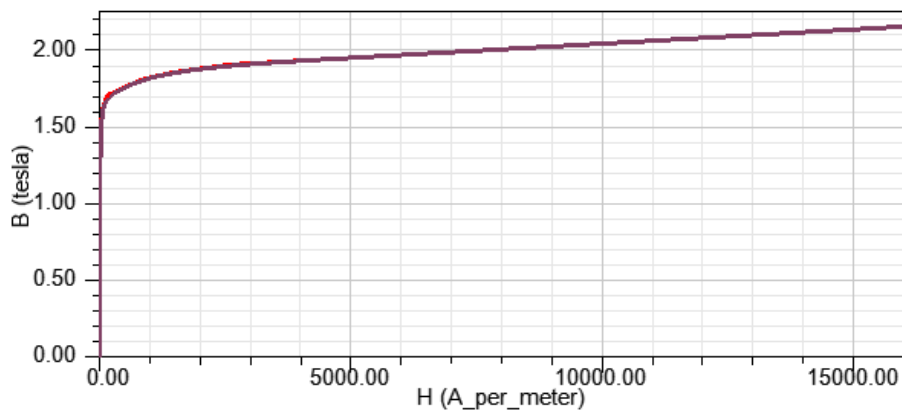
Şekil 1. Transformatörün modeli ve örülen Mesh(ağ)

Program ortamında transformatör modelinin sınır şartları, geometric ölçüleri ve kullanılan tüm malzemelerin özellikleri model üzerinde tanımlanmaktadır. Transformatöre ait analizlerde kullanılan elektriksel bilgiler Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Tasarlanan transformatöre ait elektriksel ve mekaniksel veriler.

Parametre	Değer
Nominal Güç	15.MVA
Primer Voltajı	33000 V
Sekonder Voltajı	11000V
Çekirdek Kayıpları	12500 W
Bakır Kaybı	97000 W
Frekans	50 Hz
Çekirdek Materyali	M125-027S

Transformatörün nüvesi manyetik malzemenin B-H eğrisi ve ince saclarla program ortamında tanımlanmaktadır. Kullanılan nüve malzemesinin manyetik özelliği olan B-H eğrisi Şekil 2’de verilmiştir.

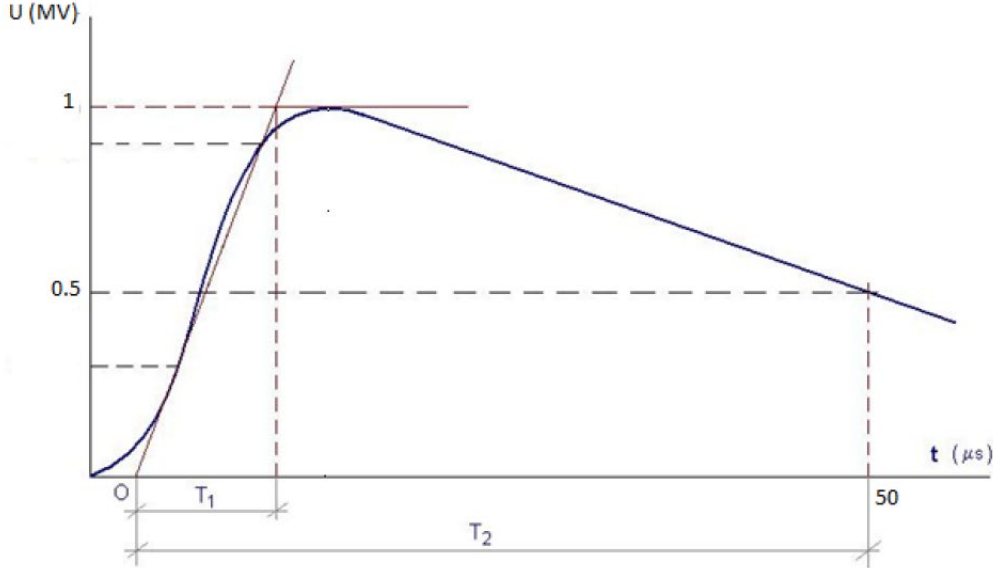


Şekil 2. Nüve materyalinin B-H eğrisi

Modellenen transformatör iki durum için analiz edilmiştir. Hem normal çalışma koşullarında hem de ani akım durumunda analiz edilip sonuçlar karşılaştırılmıştır.

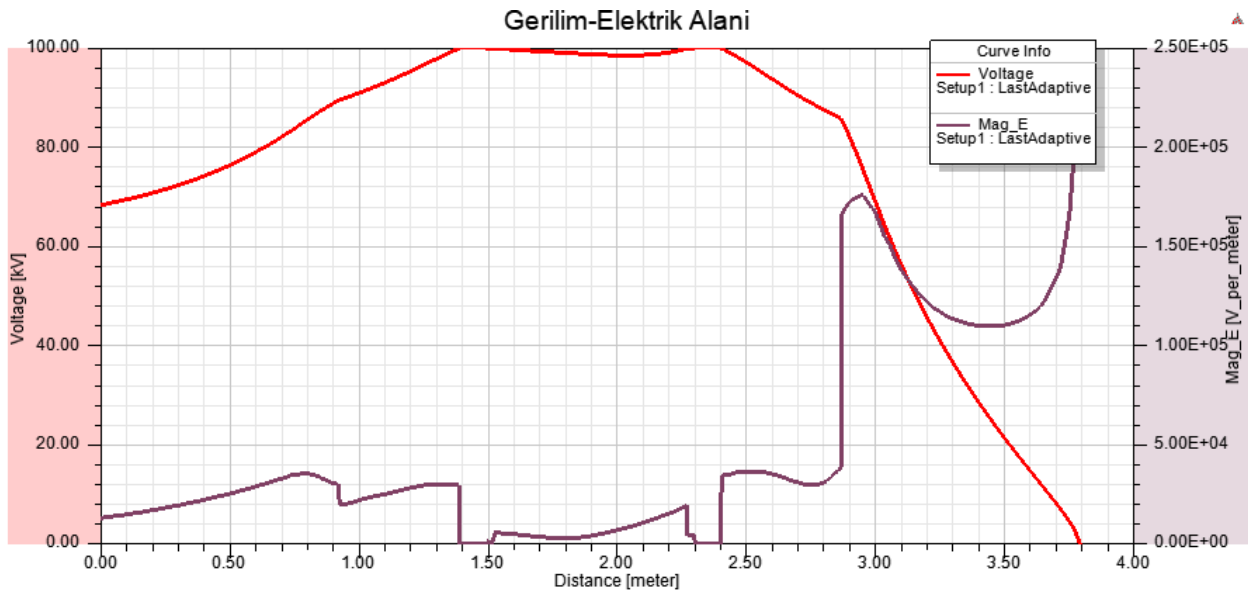
3.1 ani akımlar için transformatörün analizi

Bu analiz için modellenen transformatörün primer sargılarına uygulanan yıldırım-darbe gerilimi Şekil 1'de gösterilmiştir. Primer gerilim, sekonder sargıda yıldırım geriliminden daha düşüktür.



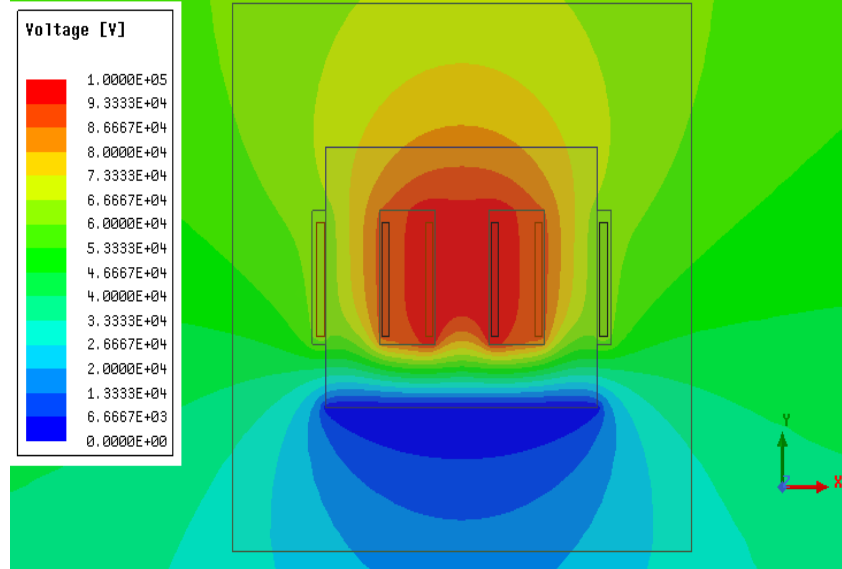
Şekil 3. Uygulanan Yıldırım darbe gerilimi.

Çekirdeğin dış köşesinden Primer sargıya doğru bir çizgi boyunca elektrik alanın büyüklüğü Şekil 4'te gösterilmektedir. Bu çizgi boyunca elektrik alanın azalması/artması, o çizginin başlangıç / bitiş noktasına değişir.



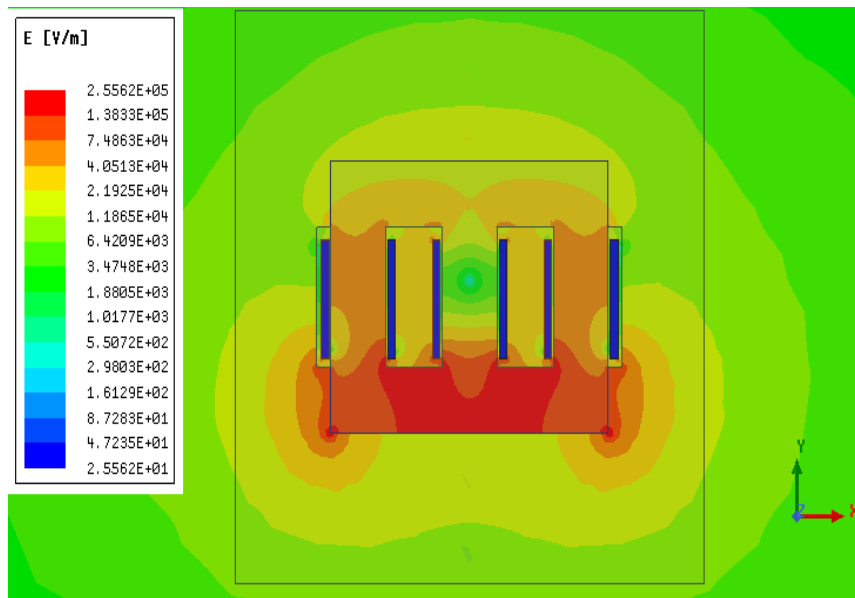
Şekil 4. Yıldırım darbesindeki gerilim-elektrik alanı ilişkisi

Transformatör üzerindeki gerilim dağılımı, Şekil 5'te yıldırım darbesi sırasında sunulmuştur. Sargılarda meydana gelen aşırı gerilim ve akımlar sargıların izolasyon malzemesinin zarar görmesine sebep olmuştur. Kırmızı renk ile görülen kısımlar aşırı gerilim zorlanmalarını gösterir.



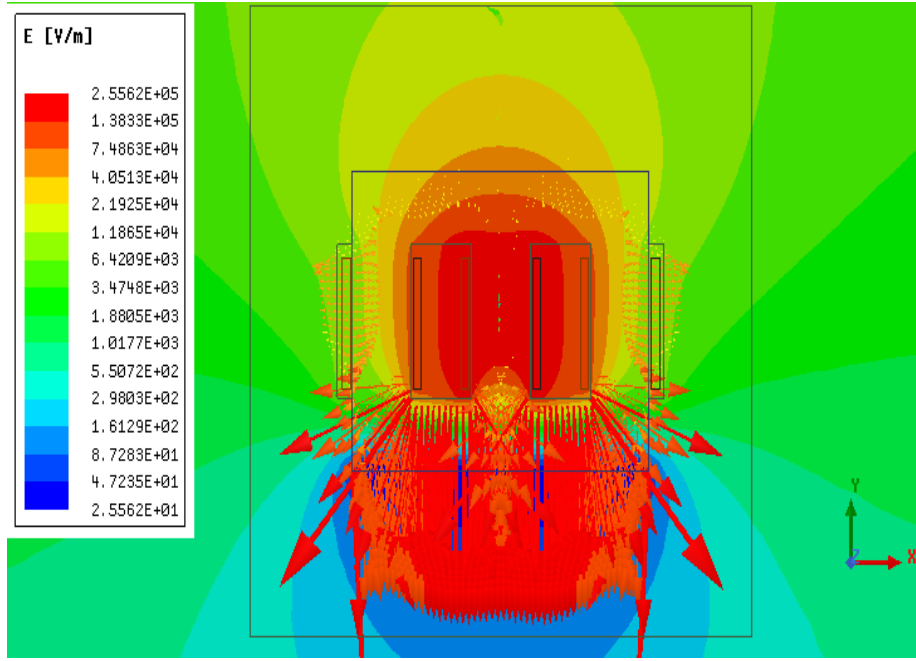
Şekil 5. 2D transformatör modelinde yıldırım darbesi durumunda meydana gelen zorlanma ve gerilim dağılımı.

İki boyutlu transformatör modelinde Primer ve sekonder sargılar arasında yalıtım malzemesinin üst tarafındaki elektrik alan büyüklüğü Şekil 6'da gösterilmiştir

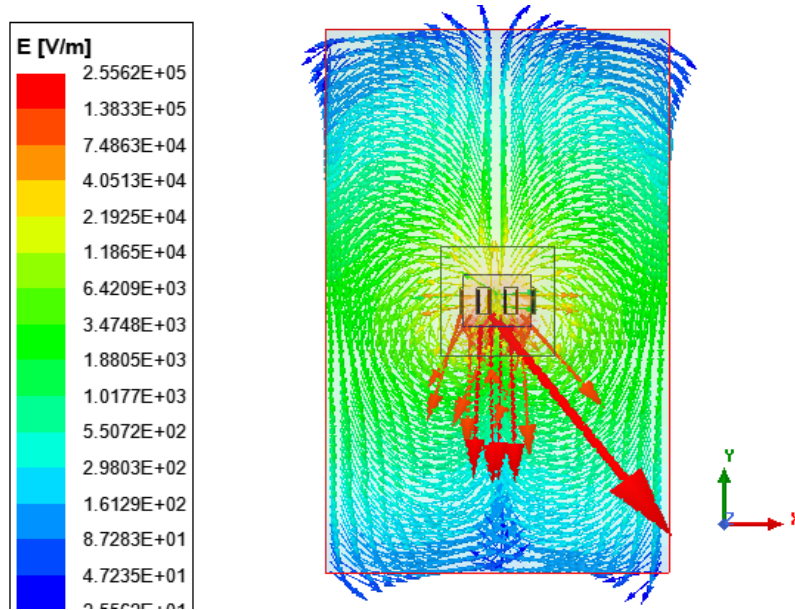


Şekil 6. Yıldırım darbesi sırasındaki elektrik alan dağılımı

İki boyutlu transformatör modelinde elektrik alan dağılımı Şekil 7'de yıldırım darbesi sırasında vektörlerle gösterilmiştir.



Şekil 7. Yıldırım darbesi sırasındaki elektrik alanının vektörel dağılımı

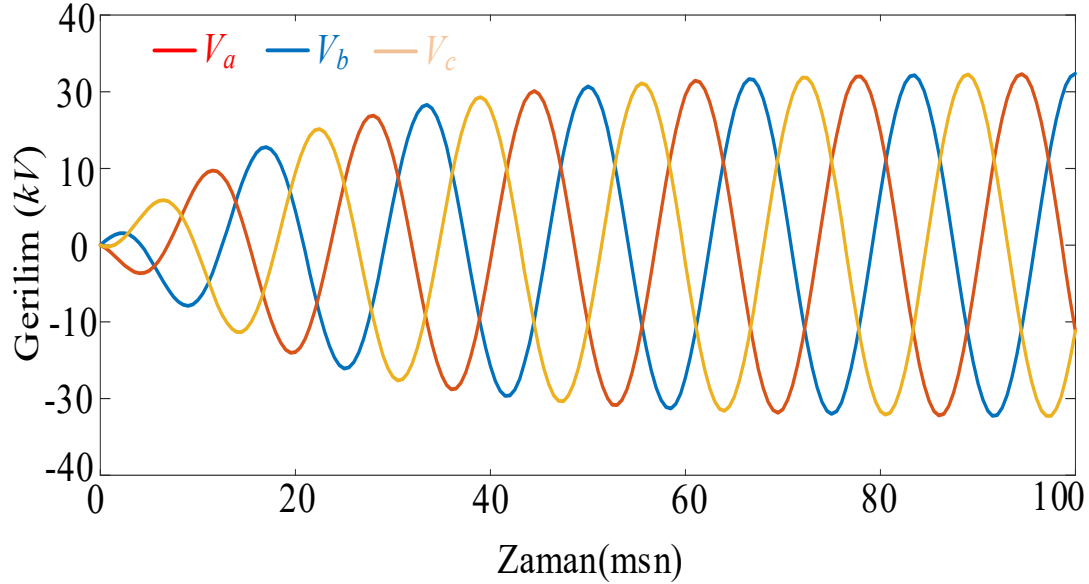


Şekil 8. 2D transformatör modelinde Primer ve sekonder sargılar arasında elektrik alan dağılımı.

Sekonder sargıdaki yıldırım voltajının sonucu, uygulanan yıldırım darbesi ile tutarlıdır. Primer ve sekonder sargılar arasındaki yalıtım malzemelerinde bozulmaya neden olabilecek kritik bölgeler tespit edilmiştir. İki boyutlu modelin yalıtım malzemesi üzerindeki kritik bölgelerdeki elektrik alan dağılımı da gösterilmiştir.

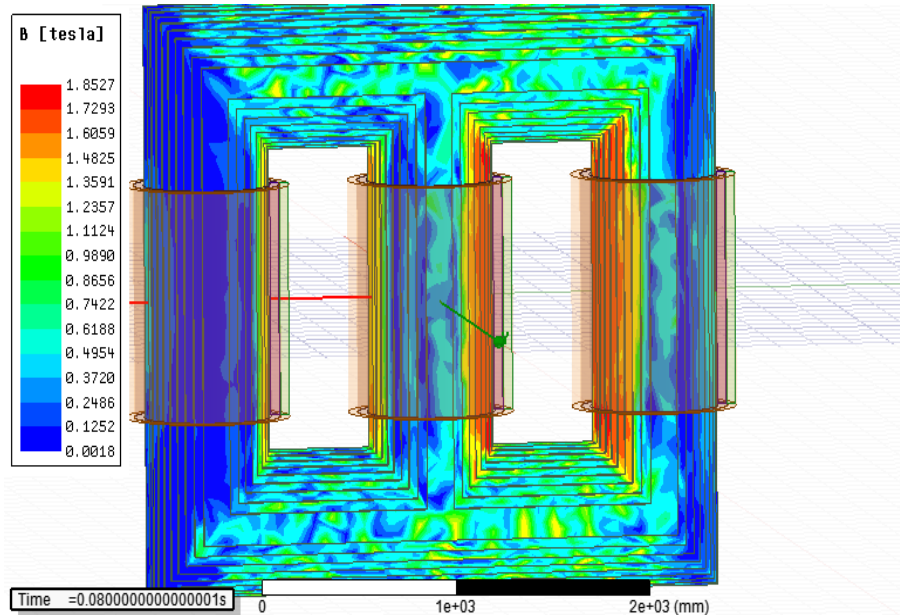
3.2 transformatörün normal koşullardaki analizi

Bu bölümde transformatörün, elektromanyetik alan analizi, kayıp değerleri ve sargılardaki elektromanyetik kuvvetleri kalıcı hal durumu için elde edilmiştir. Analiz için programa Şekil 9'da verilen ve exponansiyel olarak artan bir gerilim uyarması verilmiştir [11-12].



Şekil 9. Transformatörün giriş gerilimi

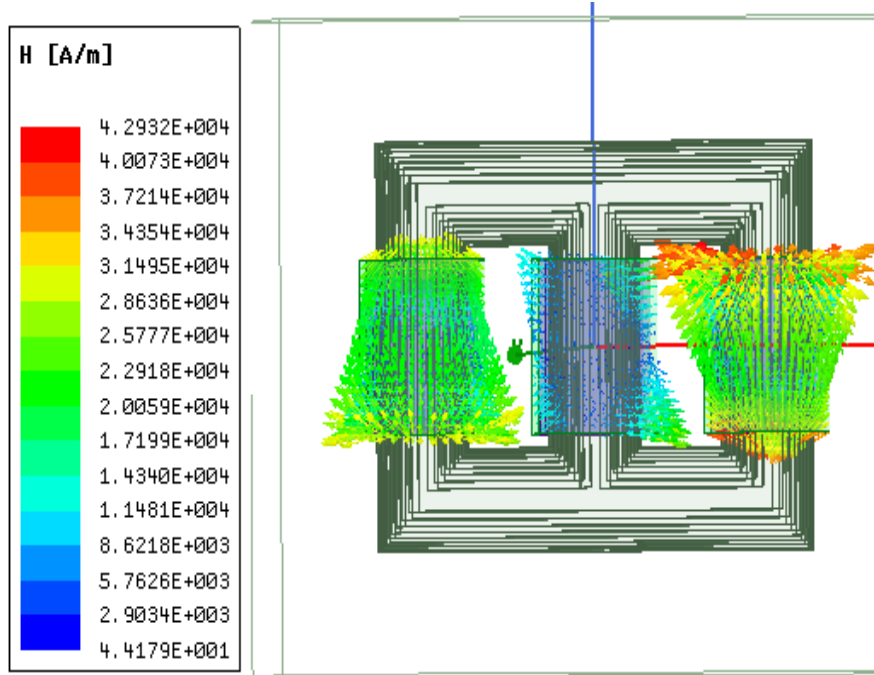
ANSYS@Maxwell 3D ortamında modellenen transformatörün manyetik akı dağılımı Şekil 10'da sunulmuştur.



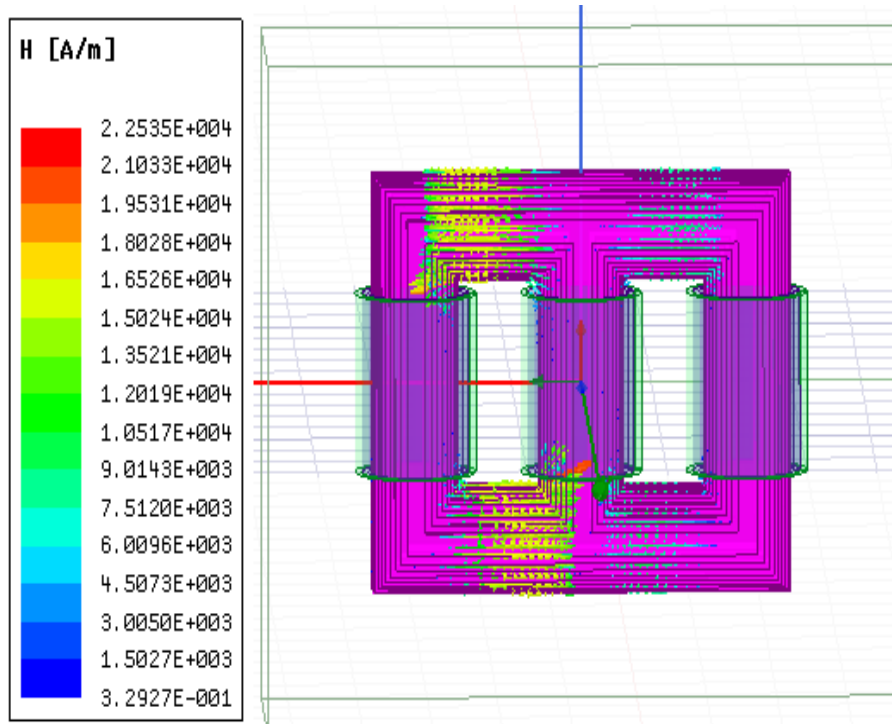
Şekil 10. Modelin manyetik akı dağılımı

Çalışmadaki analizlerden manyetik alan şiddeti de elde edilmiştir. Hem nüvedeki hem sargılardaki manyetik alan şiddetleri Şekil 11 ve Şekil 12'de sunulmuştur. Alan şiddeti dağılımından sargılardaki

zorlanmalar görülebilmektedir. Özellikle üçüncü fazda sargı izolasyonlarında zorlanmalar meydana gelmiştir. Zorlanmanın fazla olması yalıtım malzemesinin bozulmasına hatta delinmesine dahi sebep olabilmektedir.

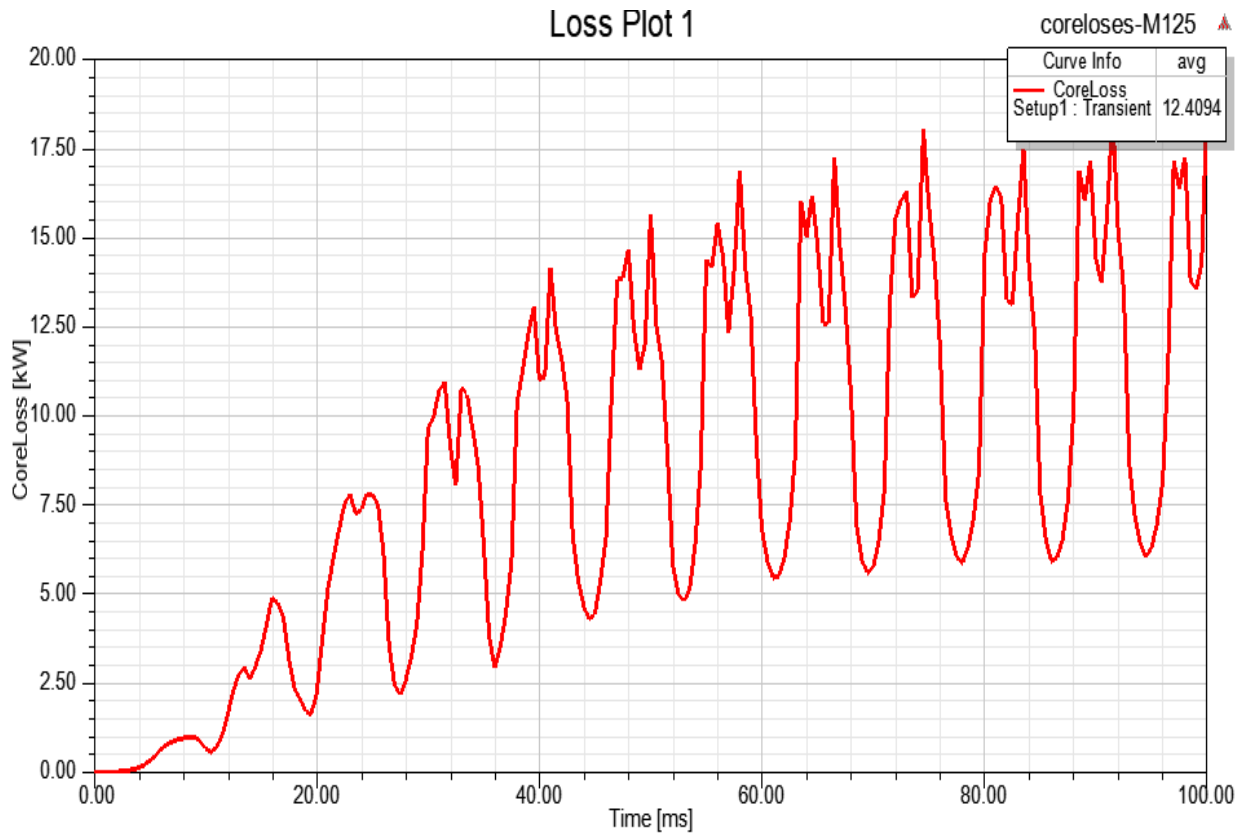


Şekil 11. Sargılardaki manyetik alan şiddeti



Şekil 11. Nüvedeki manyetik alan şiddeti

Modellenen transformatörün ANSYS@Maxwell ile elde edilen çekirdek kayıp eğrisi Şekil 13'te sunulmuştur.



Şekil 13. Trafonun çekirdek kayıpları

Trasnformatörün normal çalışma şartlarındaki analiz sonuçları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Transformatörde meydana gelen nüve ve bakır kayıpları

	Bakır kayıpları		Nüve kaybı		
	Simülasyon sonucu	Deneyse sonuç	Teorik sonuç	Simülasyon sonucu	Deneyse sonuç
Teorik sonuç	97.2 kW	97 kW	12.36 kW	12.41 kW	12.5 kW
96.49 kW					

Modellenen transformatörün analizinde kullanılan malzemelere ait bazı karakteristik bilgiler Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Transformatörün materyallerinin özellikleri

	Yoğunluk	Isotropic termal iletkenlik	Özel sıcaklık değeri
Sargılar	8933 kg/m ³	400 W/m ² °C	385j/kg ² °C
Nüve	7650 kg/m ³	5 W/m ² °C	
İzolasyon		4.5 W/m ² °C	

Transformatör her iki durum için analiz edildikten sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen simülasyon sonuçları deneysel ve teorik sonuçlarla karşılaştırılarak transformatörün zayıf ve sorunlu bölgeleri tespit edilmiştir.

3.3 Sonuçların karşılaştırılması

Modellenen transformatör iki durum için analiz edilmiştir. Hem normal çalışma koşullarında hem de ani akım durumunda analiz edilip sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. Sonuçların karşılaştırılması

	Elektrik Alanı	Manyetik Akı (T)	Manyetik alan şiddeti	Elektro-Manyetik kuvvetler
Normal çalışma koşulları	0.85 102 V/m	B =1.84 T	H= 2861 A/m	1.402 N
Ani akımlarda	1.45 105 V/m	B =3.64 T	H= 7903 A/m	3411 N

Trafonun geçici rejim olayındaki manyetik akı, elektromanyetik kuvvet, elektrik alan ve manyetik alan şiddeti değerleri incelendiğinde sonuçların ne kadar farklı olduğu görülmektedir. Meydana gelen elektromanyetik kuvvetin sargı izolasyonlarına zarar verdiği görülmüştür. Elektrik alanine yüksek olması izolasyonda delinmeye yol açmaktadır. Manyetik akının yüksek olması nüve malzemesinin doyuma gitmesine sebep olmuş ve kayıplar artmıştır.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, elektrik alanının hesaplanmasında integral denklem yaklaşımının kullanımı sunulmaktadır. Bu yaklaşım, bir transformatörün elektrik alanının hesaplanmasına uygulanabilirliğini doğrulamak için sayısal bir yöntemi çözmek amacıyla kullanılmıştır. Yıldırım Yıldırım darbesi, aşırı gerilim darbesi nedeniyle tüm elektrik güç sistemleri için çok önemli bir olgudur. Bu nedenle yıldırım analizi, güç sorunu için eşit derecede önemlidir. Bu yazıda Yıldırım-darbesi sırasında trafoya uygulanan yıldırım darbe gerilimi, trafonun elektrik alanı ve gerilim dağılımı simülasyon sonuçları ile sunulmuştur. Birincil ve ikincil sargılar arasındaki yalıtım malzemelerinde bozulmaya neden olabilecek kritik bölgeler üç boyutlu olarak gösterilmiştir. İki boyutlu modelin yalıtım malzemesi üzerindeki kritik bölgelerdeki elektrik alan dağılımı da gösterilmiştir. Denklem sistemi, sınır elemanı yöntemleri kullanılarak çözülmüştür. Sonuçlar, ticari bir yazılım olan ANSYS@Maxwell yazılımının sonuçları ile karşılaştırıldığında uyum içinde olduğu görülmüştür. Bu da kullanılan yöntemi doğrulamaktadır. Sonuçlar analiz edildiğinde, meydana gelen elektromanyetik kuvvetin sargı izolasyonlarına zarar verdiği görülmüştür. Elektrik alanine yüksek olması izolasyonda delinmeye yol açmaktadır. Manyetik akının yüksek olması nüve malzemesinin doyuma gitmesine sebep olmuş ve kayıplar artmıştır.

Teşekkür

Bu çalışma İnönü Üniversitesi BAP birimince destek almıştır. Proje No: FBA-2017-639. Katkılarından dolayı teşekkürler.

Kaynaklar

- [1] Heatcote M, 2007 J&P Transformer Book. Thirteenth Edition, Oxford, United Kingdom, Newness An imprint on Elsevier.
- [2] Turan H, Çekirdekli D 2007 Hava Aralığı Bulunan Reaktör Çeşitlerinin İrdelenmesi ve Bir Prototip için Uygulama Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye.
- [3] Dönük A 2012 Modeling and Design of Iron-Core Shunt Reactors With Discretely Distributed Air-Gaps. Doktora Tezi, ODTÜ, Ankara, Turkey.
- [4] Zheng T, Zhao YJ, Ying J, Chen PL, Zhang FF 2015 “Design and analysis on the turn-to-turn fault protection scheme for the control winding of a magnetically controlled shunt reactor”. IEEE Transactions, 30(2), 967-975.
- [5] Wojda R.P, Kazimierczuk, M.K 2013 "Analytical winding size optimisation for different conductor shapes using Ampère's Law", Power Electronics, IET, 6 (6), 1058-1068.
- [6] Özüpak Y, MAMIS M. S 2019 Realization of electromagnetic flux and thermal analyses of transformers by finite element method. IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, 14(10), 1478-1484. Doi: 10.1002/tee.22966.
- [7] Özüpak Y, MAMIS M. S, TEKE İ. H 2019 Electromagnetic Field and Total Loss Analysis of Transformers by Finite Element Method. International Journal of Engineering And Computer Science, 8(1), 24451-24460. (Yayın No: 5774086)
- [8] Yazdani-Asrami M, Mirzaie M, Akmal A. S 2013 No-load loss calculation of distribution transformers supplied by nonsinusoidal voltage using three-dimensional finite element analysis, Energy, vol. 50, no. 1, pp. 205-219.
- [9] M. Ostrenko and B. Andriienko, "Transformer impulse surges calculation by FEM coupled to circuit," in IEEE Transactions on Magnetics, vol. 53, no. 6, pp. 1-4, June 2017, Art no. 7401804.
- [10] T. Zupan, B. Trkulja, R. Obrist, T. Franz, B. Cranganu-Cretu, and J. Smajic. Transformer windings rlc parameters calculation and lightning impulse voltage distribution simulation. IEEE Transactions on Magnetics, 52(3):1–4, March 2016.
- [11] Wojda R.P, Kazimierczuk, M.K (2013)."Analytical winding size optimisation for different conductor shapes using Ampère's Law", Power Electronics, IET, 6 (6), 1058-1068.
- [12] Yugendra Rao K N, (2015). Dynamic Modeling and Calculation of Self and Mutual Inductance between a Pair of Coils for Wireless Power Transfer Applications using ANSYS Maxwell, International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology Vol. 2, Issue 10.

FISTIK KÜSPESİNDEN ANAEROBİK FERMANTASYONLA BİYOHİDROJEN VE BİYOGAZ ELDE EDİLMESİ VE OPTİMUM pH'NİN BELİRLENMESİ

Mustafa GÜMÜŞ^{1*}, Mustafa ASLAN², Harun TÜRKMENLER³

¹⁻³Adiyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Adiyaman, 02040, Türkiye

²Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, 63100, Türkiye

Geliş tarihi: 18.03.2021 Kabul tarihi: 25.05.2021

ÖZET

Artan nüfus ve gelişen teknoloji ile birlikte enerjiye duyulan ihtiyaç da hızla artmaktadır. Çevre kirliliği giderek önemli bir sorun haline gelmekte ve mevcut enerji rezervleri de hızla tükenmektedir. Hidrojen enerjisi çevre dostu, yenilenebilir bir enerji kaynağı olması sebebiyle bilimsel çalışmaların en önemli araştırma alanlarından biri haline gelmiştir. Bu çalışmada fıstık küspesinin hidrojen ve biyogaz potansiyeli araştırılmıştır. Çalışma oda koşullarında gerçekleştirilmiş; hidrojen ve biyogaz verimini etkileyen önemli faktörlerden biri olan pH'ın beş farklı değeri denenmiş ve optimum pH değeri saptanmıştır. Verimin en yüksek olduğu pH=6 değerinde elde edilen biyogaz miktarı gram fıstık küspesinde 55.54 ml olarak hesaplanmıştır. Çalışmada biyohidrojen miktarının hesaplanması için gaz kromatografi (GC) cihazı kullanılmış ve veriler kaydedilmiştir. Fıstık küspesinden biyohidrojen eldesi için optimum pH değeri 6 olarak belirlenmiş ve bu pH'da gram başına elde edilen maksimum hidrojen miktarı 5.99 ml olarak ölçülmüştür. Araştırmada fıstık küspesinin hidrojen potansiyeline sahip olduğu ve enerji elde etmede alternatif bir kaynak olabileceği saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Biyohidrojen; fermantasyon; enerji; fıstık küspesi

OBTAINING BIOHYDROGEN AND BIOGAS FROM PEANUT PULP BY ANAEROBIC FERMENTATION AND DETERMINING THE OPTIMUM pH

ABSTRACT

With the increasing population and developing technology, the need for energy also is increasing rapidly. Environmental pollution is becoming an increasingly important problem and existing energy reserves are rapidly being depleted. Hydrogen energy has become one of the most important research areas of scientific studies as it is an environmentally friendly and renewable energy source. In this study, the hydrogen and biogas potential of peanut pulp was investigated. The study was carried out under room conditions; Five different values of pH, which is one of the important factors affecting hydrogen and biogas yield, have been tried and the optimum pH value has been determined. The amount of biogas obtained at pH = 6, which has the highest yield, was calculated as 55.54 ml per gram peanut pulp. In the study, gas chromatography (GC) device was used to calculate the biohydrogen amounts and the data were recorded. Optimum pH value for obtaining biohydrogen from peanut pulp was determined as 6 and the maximum amount of hydrogen obtained per gram at this pH was measured as 5.99 ml. In the study, it was determined that peanut pulp has hydrogen potential and can be an alternative source of energy.

Keywords: biohidrojen; fermentation, energy; peanut pulp

* e-posta¹: mg-02@hotmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9335-2328> (Sorumlu Yazar)

e-posta²: mustafaaslan63@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7536-6435>

e-posta³: hturkmenler@adiyaman.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7603-7385>

1. Giriş

Gelişen teknoloji ile birlikte bir yandan enerji ihtiyacı artarken diğer taraftan enerji kaynakları hızla tükenmektedir. Dünyada en çok tüketilen enerji kaynaklarının başında da fosil yakıtlar gelmektedir. Hızla tükenen fosil yakıtlar aynı zamanda atmosferde sera gazı etkisi yaratarak önemli iklim değişikliklerine de sebep olmaktadır. Bu sebeple araştırmacılar alternatif enerji kaynağı olan biyogaz ve biyodizel gibi yenilenebilir kaynaklara yönelmişlerdir [1, 2]. Enerji elde etmede biyolojik yöntemler, çevre kirliliğine ve sera gazı etkisine sebep olmadıkları için alternatif yöntemlerdendir. Tarımsal, hayvansal, bitkisel vb. biyokütle kaynaklarından hidrojen elde edilmesi yenilenebilirlik ve sürdürülebilirlik açısından önemlidir [3]. Ayrıca biyolojik yolla hidrojen üretimi, düşük sıcaklık ve basınç değerlerinde çalışma imkânı sağladığından ucuz ve etkili bir yöntemdir. Bu sebeple biyohidrojen üretimi araştırmacıların dikkatini çekmektedir [4].

Biyokütleden hidrojen elde etmede biyokimyasal olaylar rol almakta ve bu dönüşümler için hidrojenaz denilen ve hidrojen üreten enzimler kullanılmaktadır. Bu enzimler karmaşık organik yapılı maddeleri hidrojene dönüştürmektedir. Enzimler ya saf kültür olarak temin edilmekte veya karışık kültürler ısıtma, alkali veya asidik ön işlem gibi saflaştırma yöntemleri ile diğer hidrojen tüketen bakterilerden arındırılmaktadır [5]. Hidrojen yandığında sadece su açığa çıktığı için çevre dostu bir yakıt olmasının yanı sıra gram hidrojen başına 122 kJ'lik bir enerji açığa çıkardığı için de önemli bir enerji kaynağıdır [6]. Biyokütle kaynaklarından fermantasyonla hidrojen üretimini etkileyen birçok faktör vardır. Bunların başında kullanılan biyokütle kaynağının içeriği gelmektedir. Biyohidrojen üretiminde organik atıkların kullanımı önemli bir avantajdır [7]. Literatürde pek çok çalışma göstermiştir ki farklı biyokütle kaynakları farklı organik içeriklere sahip olduklarından aynı koşullarda hidrojen verimleri farklılık göstermektedir. Bu sebeple kullanılacak biyokütle kaynağının kimyasal içeriği önemlidir [8]. Biyokütleye uygulanan fiziksel ve kimyasal ön işlemler de hidrojen verimini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu işlemlerin başında ısıtma, alkali ve asidik ön işlemler gelmektedir. Bu parametreler dikkate alındığında önemli hidrojen verimi değişiklikleri de görülmüştür [9]. Fermantasyon ortamında da hidrojen verimini etkileyen çeşitli faktörler bulunmaktadır. Çalışma parametrelerinin optimizasyonu gaz verimliliği açısından önemlidir [10]. Bunların başında sıcaklık ve pH gelmektedir. Hidrojen üretimi için biyolojik süreç pH'ya bağımlıdır [11]. Birçok çalışmada farklı pH'nın hidrojen verimini etkilediği bilinmektedir. Kullanılan biyokütle kaynağına göre farklı pH'larda elde edilen gaz verimleri de değişiklik göstermektedir. Literatür incelendiğinde biyohidrojen verimini etkileyen diğer faktörler ise; kullanılan mikrobiyal kültürün içeriği, biyokütle kaynağının fermantasyon ortamındaki farklı miktarları, biyokütlenin bekleme süresi ve mikroorganizmaların çoğaltılma koşulları şeklinde sıralanabilir [12-13].

Fıstık organik içeriği zengin bir biyokütle kaynağıdır. Fıstık kavlatma tesislerinde her yıl tonlarca atık küspe oluşmaktadır. Bu küspe kısmen hayvan yemi olarak kullanılırken önemli bir kısmı yakılarak ısınma amaçlı kullanılmaktadır. Bu durum hem atmosfere hem de ekonomiye zarar vermektedir. Bu çalışmada fıstık küspesinden kesikli bir reaktörde, karanlık fermantasyonla hidrojen gazı elde edilmesi ve gaz verimine pH'nın etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metod

2.1. Fıstık küspesine ön işlem uygulanması

şanlıurfa/Bozova fıstık kavlatma tesisleri atık deposundan temin edilen fıstık küspesinden elde edilecek hidrojen verimini arttırmak için küspe, öğütücüde öğütülmüş ve gözenek boyutu 0.25 mm olan elekten geçirilmiştir (şekil 1). Öğütme işlemi kullanılan biyokütle kaynağının temas yüzeyini genişleterek fermantasyonda kullanılan mikroorganizmaların etkinliğini arttıracak ve fıstık küspesinde

bulunan hücre duvarının yapısını parçalayacaktır. Böylece mikroorganizmaların lignoselülözük yapıya ulaşması sağlanarak hidrojen ve biyogaz verimi arttırılacaktır [14].



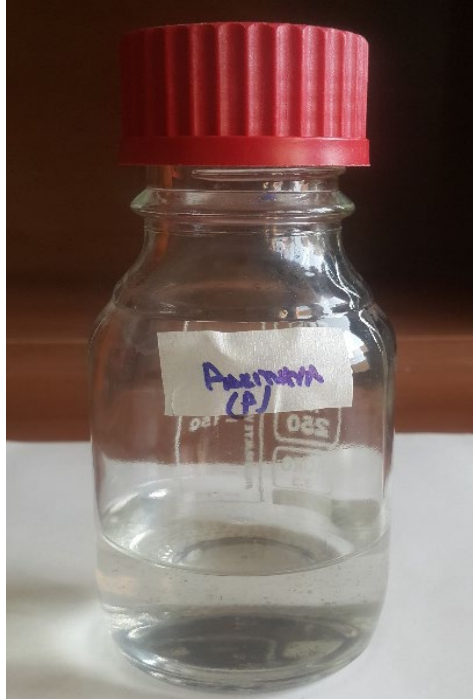
(a)

(b)

Şekil.1 Kullanılan fıstık küspesi (a) ve öğütölüp elekten geçirilmiş hali (b)

2.2. Kullanılacak aşı kültürü ve uygulanan ön işlemler

Karışık mikrobiyal kültür, Düzce’de bulunan Pakmaya firmasının anaerobik atık su arıtma tesisinin asidojenik fazından elde edilmiştir. Temin edilen aşı kültürü içerisinde hidrojen üreten bakterileri bulundurmasının yanı sıra hidrojen tüketen bakteriler de ihtiva ettiği için ısıtma işlemine tabi tutulmuştur. Isıtma işlemi hidrojen tüketen bakterileri inaktive ederken hidrojen üreten bakteriler canlılığını devam ettirebilmektedirler. Bu amaçla karışık aşı kültürü 100 °C sıcaklıkta 20 dakika süre ile ısıtılmıştır [3, 15-17] (Şekil 2).



Şekil 2. Karışık aşı kültürü

2.3. Hidrojen üretecek bakteri kültürüne iz elementlerin eklenmesi

Hidrojen üreten bakteriler, temin edilmiş olan aşı kültürü içerisinde pasif haldedirler. Bu bakteri popülasyonunu büyütmek için ortama iz elementlerden oluşan besin maddesi eklenmiştir. Park ve ark. [18]'nin yöntemine göre 0.96 g/L NH₄Cl, 0.22 g/L KH₂PO₄, 0.12 g/L MgSO₄.7H₂O, 0.01 g/L CaCl₂, 0.01g/L MnSO₄.H₂O ve 0.043 g/L FeCl₂ bileşenlerini içeren çözelti hazırlanarak fermantasyon başlatma aşamasında ortama 5 ml/ litre çözelti oranında eklenmiştir.

2.4. Biyogaz ve biyohidrojen için fermantasyon işleminin başlatılması

Fıstık küspesinden litrede 10 g katı madde olacak şekilde suyla karışım hazırlanmış ve pH'sı ölçülmüştür. Ölçülen pH değeri 6.5 bulunmuştur. Fermantasyon için 250 ml'lik serum şişelerinden 5 tane alınmış önce şişelere iz element çözeltisinden 0.5 ml; sonra 2.5 ml aşı ilave edilmiştir. Daha sonra üzerlerine fıstık küspesi karışımı eklenmiş ve şişedeki sıvı faz hacmi 100 ml'ye tamamlanmıştır. pH değerleri 1 M'lık NaOH ve HCl çözeltileri kullanılarak 4, 5, 6, 7 ve 8'e ayarlanmıştır [19] (Şekil 3).



Şekil 3. Beş farklı pH'ta hazırlanmış fermantasyon reaktörleri

Fermantasyon anaerobik ortamda gerçekleşeceği için şişelerin içinden azot gazı geçirilerek oksijenden arındırılmış ve şişeler kauçuk kapakla hava almayacak şekilde kapatılmıştır. Şişelerin toplam gaz basınçları HMG/01 basınç ölçer cihazı ile günlük olarak takip edilmiştir. Şişelerde üretilen hidrojen gazının analizi için Shimadzu GC-2010 marka GC kullanılmıştır. Çözeltiler çalkalayıcı ile sürekli karıştırılmıştır. GC'de Supel-Co 30mx0,32mm kolon ve TCD dedektör kullanılmıştır. Dedektörde taşıyıcı gaz olarak helyum gazı kullanılmıştır. Fırın sıcaklığı 235 °C, kolon sıcaklığı 35 °C ve dedektör sıcaklığı 250 °C olarak ayarlanmıştır. Her gün şişelerden 500 µl gaz numunesi alınarak gaz kromatografi cihazına enjekte edilmiş ve elde edilen veriler bilgisayara kaydedilmiştir. Cihazdan alınan verilerle enjekte edilen biyogaz içeriğindeki hidrojen, metan ve korbondioksit miktarı hesaplanmıştır.

3. Araştırma Bulguları

Çalışmada kullanılan fıstık küspesinin Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) standart 5220B metodu baz alınarak 6.14 g/L olarak hesaplanmıştır. Fıstık küspesindeki toplam uçucu katı madde miktarını hesaplamak için 2540 nolu standart metod kullanılmış ve 16.25 mg/L olarak hesaplanmıştır.

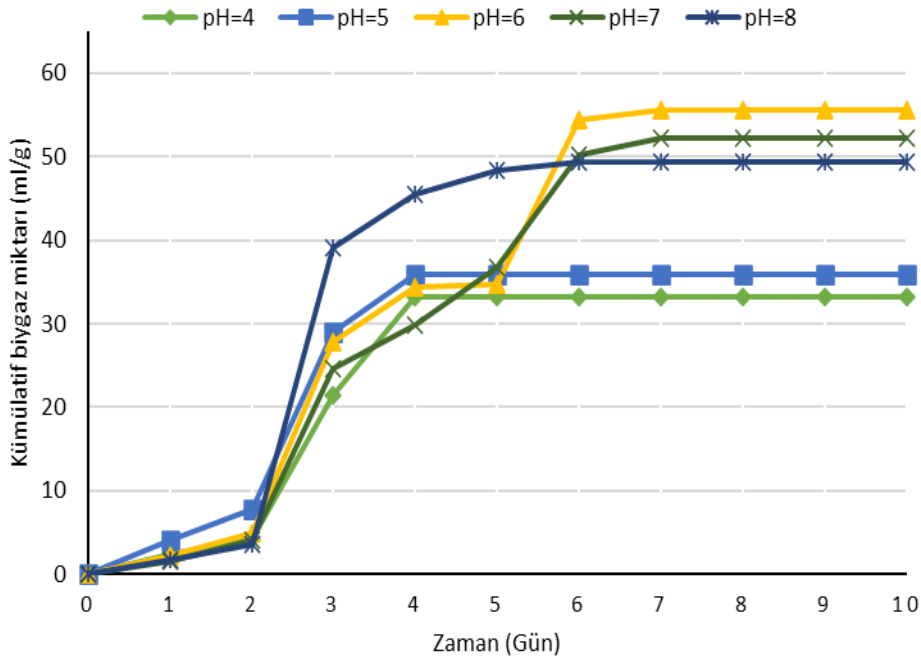
3.1. Kümülatif biyogaz veriminin pH'a bağlı olarak değişimi

Çalışma sonunda günlük takip edilen fermantasyon reaktöründeki toplam biyogaz üretimlerinin pH'ya göre değişimi Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. pH'ya bağlı olarak üretilen kümülatif biyogaz miktarı (ml/g)

		Kümülatif biyogaz miktarı (ml/g)				
Zaman(gün)		pH=4	pH=5	pH=6	pH=7	pH=8
	1	2.42	4.1	2.15	1.6	1.8
	2	4.2	7.8	4.86	4.14	3.6
	3	21.4	29	27.74	24.66	39
	4	33.2	35.8	34.34	29.86	45.4
	5	33.2	35.8	34.74	36.66	48.4
	6	33.2	35.8	54.34	50.26	49.3
	7	33.2	35.8	55.54	52.14	49.4
	8	33.2	35.8	55.54	52.14	49.4
	9	33.2	35.8	55.54	52.14	49.4
	10	33.2	35.8	55.54	52.14	49.4

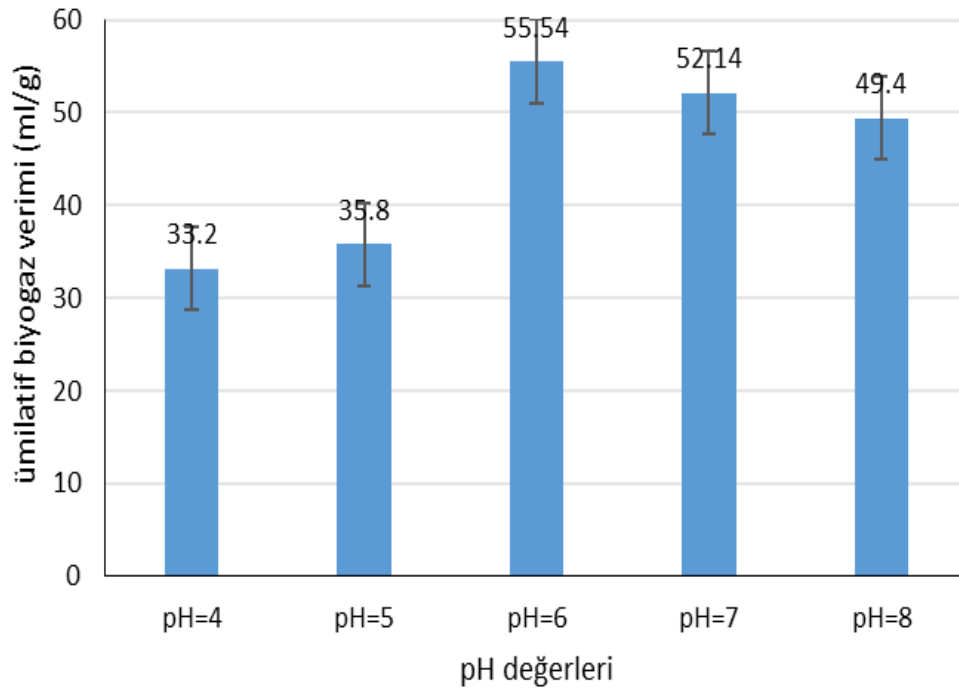
Çizelge 1, günlük olarak takip edilen basınç değişiminden yola çıkarak hesaplanan kümülatif biyogaz miktarının 10 gün boyunca elde edilen değerlerini göstermektedir. Bu değerler grafiğe aktarıldığında şekil 4 elde edilmiştir.



Şekil 4. Kümülatif biyogaz miktarları (ml/g, pH=4-8)

Şekil 4 incelendiğinde fıstık küspesinden biyogaz üretimi 3. günden sonra hızla artmış ve farklı pH'lar için maksimum verime ulaşma süreleri farklılık göstermiştir. 6. günde tüm pH değerlerinde biyogaz üretiminin durduğu gözlemlenmiştir. Kümülatif biyogaz değerinin maksimum olduğu pH değeri 6 olarak tespit edilmiştir. pH=6'nın üstündeki değerlerde kümülatif biyogaz veriminin düştüğü, pH=4 değerinde ise biyogaz veriminin minimum olduğu grafikte görülmektedir.

Farklı pH değerlerindeki maksimum biyogaz değerleri kıyaslandığında şekil 5 elde edilmiştir.



Şekil 5. Farklı pH'larda maksimum biyogaz verimi

Şekil 5 incelendiğinde pH'nın 6 olduğu fermantasyon ortamında fıstık küspesinin gramında maksimum değer olan 55.54 ml biyogaz elde edilmiştir. pH=6'dan sonra bu değerin azaldığı görülmektedir. En düşük biyogaz verimi ise pH=4 değerinde 33.2 ml olarak hesaplanmıştır.

3.2. Kümülatif biyohidrojen veriminin pH'a bağı olarak değışimi

Araştırma sonucunda GC'den ölçülen değerlerle hesaplanan kümülatif biyohidrojen üretimlerinin pH'ya göre değışimi çözelge 2'de verilmiştir.

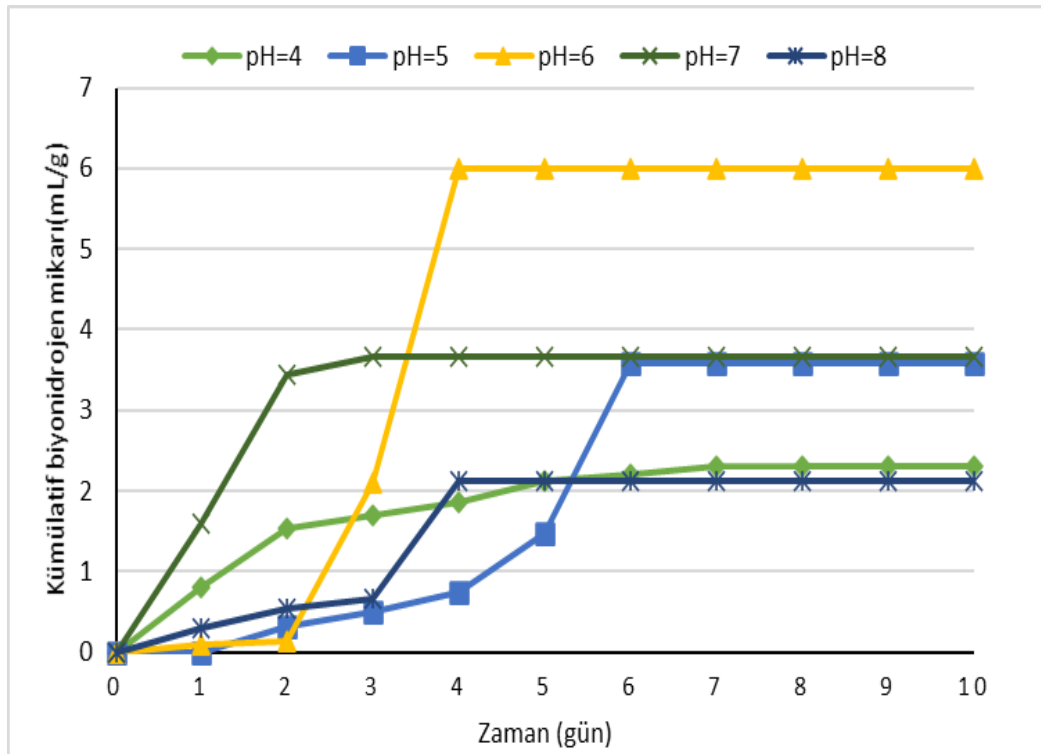
Çizelge 2. pH'a bağı olarak üretilen kümülatif biyohidrojen miktarı (ml/g)

		Kümülatif biyohidrojen miktarı (ml/g)				
		pH=4	pH=5	pH=6	pH=7	pH=8
Zaman(gün)	1	0.80	0.00	0.10	1.60	0.30
	2	1.54	0.33	0.13	3.44	0.54
	3	1.70	0.50	2.10	3.67	0.67
	4	1.86	0.74	5.99	3.67	2.12

5	2.13	1.47	5.99	3.67	2.12
6	2.21	3.59	5.99	3.67	2.12
7	2.30	3.59	5.99	3.67	2.12
8	2.30	3.59	5.99	3.67	2.12
9	2.30	3.59	5.99	3.67	2.12
10	2.30	3.59	5.99	3.67	2.12

Çizelge 2- Devamı

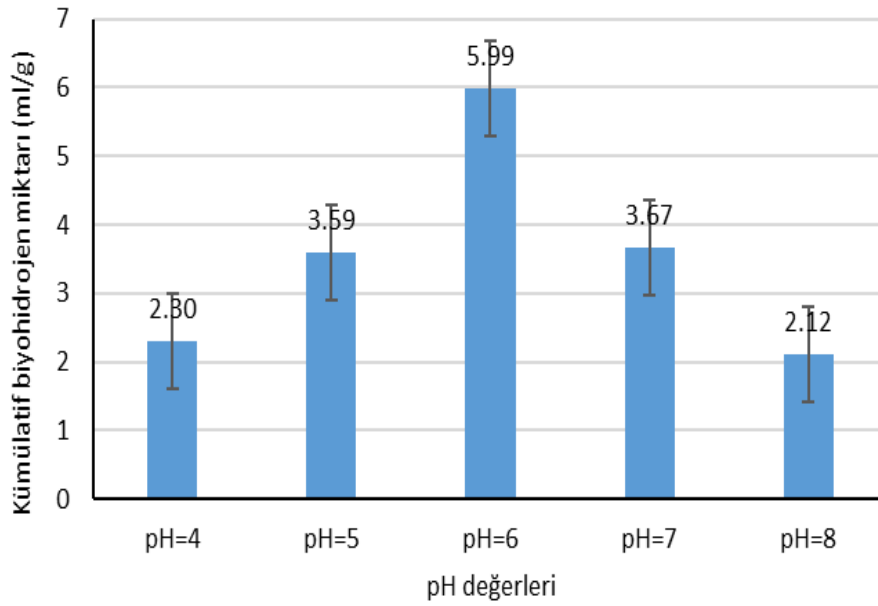
Çizelge 2, günlük olarak GC cihazından ölçülen değerlerle hesaplanmış farklı pH'lardaki kümülatif biyohidrojen miktarının 10 gün boyunca elde edilen değerlerini göstermektedir (Şekil 6).



Şekil 6. pH'a bağı kümülatif biyohidrojen gazı miktarları (ml/g)

Şekil 6 incelendiğinde fıstık küspesinden hidrojen üretiminin 6. gününde tüm pH değerlerinde durduğu gözlemlenmiştir. Kümülatif biyohidrojen değerinin maksimum olduğu pH değeri 6 olarak tespit edilmiştir. pH=6'nın üstünde değerlerde kümülatif biyohidrojen veriminin düştüğü, pH=8 değerinde ise biyohidrojen veriminin minimum olduğu grafikten anlaşılmaktadır.

Farklı pH değerlerindeki maksimum biyohidrojen değerleri kıyaslandığında şekil 7 elde edilmiştir.



Şekil 7. Farklı pH'lardaki maksimum biyohidrojen verimi değeri

Şekil 7 incelendiğinde pH'ın 6 olduğu fermantasyon ortamında fıstık küpsesinin gramında maksimum değer olan 5.99 ml hidrojen gazı elde edilmiştir. pH=6'dan sonra bu gaz veriminin düştüğü görülmektedir. En düşük biyohidrojen verimi ise pH=8 değerinde 2.12 ml olarak hesaplanmıştır.

Literatüre bakıldığında da kullanılan karışık bakteri kültürlerinde bulunan enzimlerin düşük pH seviyelerinde asetik asit, bütirik asit, laktik asit gibi organik asitler ürettiği belirtilmektedir. Açığa çıkan bu organik asitler ise hidrojen üreten hidrojenaz enzimlerini inhibe ederek enzim aktivitesini düşürdüğü saptanmıştır [20]. Bowles ve Ellefson [21] da *Clostridium acetobutylicum* bakterisine bütanolün etkisi üzerine yapmış olduğu çalışmada pH 5'in altında olduğunda hücre içi pH değerinin sabit tutulmasının zor olduğunu ve enzim aktivitesinin düştüğünü belirtmişlerdir.

Fıstık küspesi kullanarak elde ettiğimiz biyogaz ve hidrojen verimi için optimum pH değeri 6 olarak tespit edilmiştir. Literatür değerlerine bakıldığında; Guo ve ark. [13] yemek atıklarından hidrojen elde edilmesi için yaptıkları çalışmada optimum pH değerinin 5 ile 6 aralığında olduğunu belirtmişlerdir. Li ve Fang da [22] benzer şekilde fermentatif hidrojen üretimi için optimum pH'sı, bakteriyel büyüme için uygun olan pH aralığına karşılık gelen 5 ile 7 arasında değiştiğini belirtmişlerdir.

Chu ve ark.[23] yaptıkları çalışmada bira mayası atık sularından biyohidrojen eldesi için saf kültür *C. Acetobutylicum* enzimi kullanmışlar ve pH=5.5 değerinde maksimum miktar olan 1.41 mol/mol heksoz'luk hidrojen gazı elde etmişlerdir.

Benzer şekilde Tapia-Venegas ve ark. [24] de farklı pH aralıklarında yapmış oldukları çalışmada maksimum hidrojen verimine pH=5.5 değerinde (2.7 mol H₂/mol gilikoz) ulaşmışlardır. Vijayaraghavan ve Ahmad [25] hurma yağı atıklarından elde ettikleri hidrojen gazı için optimum pH değerinin 5 olduğunu belirtmişlerdir.

Literatürdeki bu çalışmalar pH'ın hidrojen ve biyogaz üretiminde önemli bir faktör olduğunu ortaya koymuştur ancak değişen substrata bağlı olarak optimum pH değerleri de değişiklik göstermektedir [26]. Örneğin Li ve Chen'in [27] mısır sapından biyohidrojen eldesi üzerine yapmış oldukları çalışmada farklı pH değerleri denenmiş ve optimum pH'ın 7-7.5 aralığında olduğu tespit edilmiştir.

Örneğın Liu ve Shen [28] substrat olarak nişasta kullandıkları çalışmada karışık bakteri kùltürleri ile hidrojen üretim verimi üzerinde 4 ila 9 arasında değişen pH'ın etkisini araştırmışlar; pH = 4'te üretilen organik asitlerin hidrojenaz enzimini inhibe etmesi sebebiyle hidrojen fermantasyonu gerçekleşmediğini söylemişlerdir.

4. Sonuç

Bu çalışmada fışık küşpesinden farklı pH'larda elde edilen biyogaz ve biyohidrojen verimleri araştırılmıştır. Araştırma verilerine göre hem biyogaz hem de biyohidrojen elde edilmesinde değişen pH değerlerine bağlı olarak gaz verimlerinin de değiştiği belirlenmiştir. pH=6 değerinde gaz verimlerinin maksimum olduğu tespit edilmiş, pH=6'nın üzerindeki değerlerde ise giderek verimlerin düştüğü görülmüştür. pH=4 ve pH=8 değerlerinde azalan biyogaz ve biyohidrojen verimleri yüksek veya düşük pH'larda kullanılan aşı kùltürünün aktifliğinin düştüğünü göstermektedir.

Sonuç olarak, fışık küşpesinin biyogaz ve biyohidrojen potansiyelinin değişen pH aralıklarındaki verimlerini araştırdığımız bu çalışmada 5 farklı pH aralığı deneniştir. Anaerobik koşullarda gerçekleştirilen fermantasyon ortamında hem biyogaz hem de biyohidrojen verimi için optimum pH değeri 6 olarak ölçülmüştür. pH=6 değerinde biyogaz verimi gram substrat başına 55,54 ml olarak hesaplanırken biyohidrojen verimi ise gram substrat başına 5,99 ml olarak hesaplanmıştır.

Fışık küşpesinin kullanıldığı bu çalışma bu biyokùtle kaynağının hidrojen ve biyogaz üretimi için bir alternatif olabileceğini ortaya koymuştur. Çalışmada optimum pH koşulları belirlenmiş ancak fermantasyonu, sıcaklık, aşı kùltürüne uygulanan ön işlemler, mikrobiyal kùltürün içeriği, kullanılan substratın derişimi gibi faktörlerin de etkilediği bilinmektedir. Bundan sonraki çalışmalarda fışık küşpesinden biyohidrojen ve biyogaz elde edilmesinde bu parametreler de dikkate alınarak daha yüksek verimde hidrojen ve biyogaz elde edilmesi üzerine araştırmalar yapılabilir.

Kaynaklar

- [1] Swami SM, Chaudhari V, Kim DS, Sim SJ, Abraham MA. Production of hydrogen from glucose as a biomass simulant: integrated biological and thermochemical approach. *Industrial & Engineering Chemistry Research* 2008; 47(10):3645-3651.
- [2] Redwood MD, Orozco RL, Majewski AJ, Macaskie LE. An integrated biohydrogen refinery: synergy of photofermentation, extractive fermentation and hydrothermal hydrolysis of food wastes. *Bioresource technology* 2012;119:384-392.
- [3] Aslan M, Gümüş M, Türkmenler H. The effect of organic loading, protein and carbohydrate on biohydrogen production from soft shell of red pistachio, sugar beet pulp, and olive pulp cake. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects* 2020;1-13.
- [4] Kraemer JT, Bagley DM. Improving the yield from fermentative hydrogen production. *Biotechnology letters* 2007;29(5):685-695.
- [5] Hallenbeck PC. Fundamentals of the fermentative production of hydrogen. *Water Science and Technology* 2005;52(1-2):21-29.
- [6] Zhang Y, Shen J. Enhancement effect of gold nanoparticles on biohydrogen production from artificial wastewater. *International journal of hydrogen energy* 2007;32(1):17-23.
- [7] Dursun N, Gülşen H. Biyohidrojen Üretim Yöntemleri ve Biyohidrojen Üretiminde Biyoreaktörlerin Kullanımı. *Journal of the Institute of Science and Technology*. 2019; 9 (1);66-75 .
- [8] Balat H, Kırtay E. Hydrogen from biomass–present scenario and future prospects. *International Journal of Hydrogen Energy* 2010;35(14):7416-7426.
- [9] Xu J, Deshusses MA. Fermentation of swine wastewater-derived duckweed for biohydrogen production. *International journal of hydrogen energy* 2015;40(22):7028-7036.
- [10] Dursun N , Gülşen H. Production and Areas of Use of Gas Biofuels and Optimization of Bioprocess Parameters Affecting the Production Efficiency . *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi* 2018;8(2/2):60-67.

- [11] Kamyab S, Ataei SA, Tabatabaee M, Mirhosseini SA. Optimization of bio-hydrogen production in dark fermentation using activated sludge and date syrup as inexpensive substrate. *International Journal of Green Energy* 2019;16(10):763-769.
- [12] Türkmenler H, Aslan M, Gümüş M. Zeytin Küspesi Çözeltilisinin Derişime Bağlı Biyogaz ve Hidrojen Potansiyelinin İncelenmesi. *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2018;5(8):147-155.
- [13] Guo XM, Trably E, Latrille E, Carrere H, Steyer JP. Hydrogen production from agricultural waste by dark fermentation: a review. *International journal of hydrogen energy* 2010;35(19):10660-10673.
- [14] Lin Z, Huang H, Zhang H, Zhang L, Yan L, Chen J. Ball milling pretreatment of corn stover for enhancing the efficiency of enzymatic hydrolysis. *Applied biochemistry and biotechnology* 2010;162(7):1872-1880.
- [15] Aslan M. Optimal operation conditions for bio-hydrogen production from duckweed. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects* 2016;38(14):2072-2078.
- [16] Kırılı B. Continuous hydrogen production from waste materials in an up-flow packed bed reactor. Yüksek lisans tezi. İzmir:Dokuz Eylül Üniversitesi, 2014.
- [17] Karaosmanoğlu F. Biohydrogen production from hydrolyzed waste wheat by continuous dark fermentation process containing novel support material. Yüksek lisans tezi. İzmir:Dokuz Eylül Üniversitesi, 2015.
- [18] Park JH, Lee SH, Ju HJ, Kim SH, Yoon JJ, Park HD. Failure of biohydrogen production by low levels of substrate and lactic acid accumulation. *Renewable energy* 2016;86:889-894.
- [19] Zhu H, Parker W, Basnar R, Proracki A, Falletta P, Béland M, Seto P. Buffer requirements for enhanced hydrogen production in acidogenic digestion of food wastes. *Bioresource technology* 2009;100(21):5097-5102.
- [20] Deublein D, Steinhauser A. *Biogas from waste and renewable resources: an introduction*. John Wiley & Sons Press;2011.
- [21] Bowles LK, Ellefson WL. Effects of butanol on *Clostridium acetobutylicum*. *Applied and Environmental Microbiology* 1985;50(5):1165-1170.
- [22] Li C, Fang HH. Fermentative hydrogen production from wastewater and solid wastes by mixed cultures. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 2007;37(1):1-39.
- [23] Chu CY, Tung L, Lin CY. Effect of substrate concentration and pH on biohydrogen production kinetics from food industry wastewater by mixed culture. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2013;38(35):15849-15855.
- [24] Tapia-Venegas E, Ramirez JE, Donoso-Bravo A, Jorquera L, Steyer JP, Ruiz-Filippi G. Bio-hydrogen production during acidogenic fermentation in a multistage stirred tank reactor. *international journal of hydrogen energy* 2013;38(5):2185-2190.
- [25] Vijayaraghavan K, Ahmad D. Biohydrogen generation from palm oil mill effluent using anaerobic contact filter. *International Journal of Hydrogen Energy* 2006;31(10):1284-1291.
- [26] Wang J, Wan W. Factors influencing fermentative hydrogen production: a review. *International journal of hydrogen energy* 2009;34(2):799-811.
- [27] Li D, Chen H. Biological hydrogen production from steam-exploded straw by simultaneous saccharification and fermentation. *International Journal of Hydrogen Energy* 2007;32(12):1742-1748.
- [28] Liu G, Shen J. Effects of culture and medium conditions on hydrogen production from starch using anaerobic bacteria. *Journal of bioscience and bioengineering* 2004;98(4):251-256.

ÜNİVERSİTEDE ÇEVRE YÖNETİM ORYANTASYON PROGRAMI UYGULAMASI: ADIYAMAN ÜNİVERSİTESİ ÖRNEĞİ

Büşra KUŞ^{1*}, Güray KARACIL², Kamil B. VARINCA³

¹⁻³Adiyaman Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, 02040, Merkez/Adiyaman, Türkiye

²Adiyaman Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, 02040, Merkez/Adiyaman, Türkiye

Geliş tarihi: 30.03.2021 Kabul tarihi: 24.05.2021

ÖZET

Çevre Yönetim Oryantasyon Programı, Üniversiteye yeni başlayan öğrencilere yönelik olarak Üniversitedeki çevre yönetimi, atık yönetimi, çevresel sorumluluklar, çevresel etkinlikler konusunda bir bilgilendirme, bilinçlendirme ve farkındalık programıdır. Oluşturulan Çevre Yönetim Oryantasyon Programı Adiyaman Üniversitesinde uygulanmış ve çıktıları değerlendirilmiştir. Buna göre programa katılan öğrencilerin bilgi ve bilinç düzeyleri program öncesi ve sonrası şeklinde ölçülmüş ve programın etkinliği uygulanan anket sonuçları vasıtasıyla değerlendirilmiştir. Uygulanan anket sonuçları belli özelliklere bağlı olarak istatistiksel olarak incelenmiş, sonuçlar SPSS programında yüzde, frekans ve aritmetik ortalama bakımından değerlendirilmiştir. Uygulama sonucunda öğrencilerin çevre ile ilgili basit gündelik bilgileri bildiği fakat birçok konuya hâkim olmadıkları görülmüş, kısa bir oryantasyon programının bile bilgi ve bilinç düzeylerinde ciddi farklar oluşturduğu değerlendirilmiştir. Sonuçta Üniversitelerde yeni başlayanlardan başlamak üzere tüm öğrencilere yönelik olarak çevre yönetim oryantasyon programının belirli aralıklarla farklılaşan içerik ile verilmesinin bireylerin çevresel bilgi ve bilinç düzeylerine ciddi katkılarda bulunacağı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çevre eğitimi, Çevre okuryazarlığı, Çevre yönetimi, Atık yönetimi

ENVIRONMENTAL MANAGEMENT ORIENTATION PROGRAM APPLICATION IN UNIVERSITY: ADIYAMAN UNIVERSITY CASE

ABSTRACT

The Environmental Management Orientation Program is an information, awareness-raising and awareness program on environmental management, waste management, environmental responsibilities and environmental activities at the University for new students. The Environmental Management Orientation Program was implemented in Adiyaman University and its outputs were evaluated. Accordingly, the knowledge and awareness levels of the students participating in the program were measured before and after the program, and the effectiveness of the program was evaluated through the results of the questionnaire. The results of the survey were analyzed statistically depending on certain characteristics, and the results were evaluated in terms of percentage, frequency and arithmetic average in the SPSS program. As a result of the application, it was seen that the students knew simple daily information about the environment, but did not have a good command of many subjects, and it was evaluated that even a short orientation program made serious differences in their knowledge and consciousness levels. As a result, it has been concluded that providing environmental management orientation programs for all students, starting from newcomers, at certain intervals with varying content will significantly contribute to the environmental knowledge and awareness levels of individuals.

Keywords: Environmental education, Environmental literacy, Environmental management, Waste management

* e-posta¹: busrakus.02@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2261-5132> (Sorumlu Yazar)

e-posta²: gkaracil@adiyaman.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8691-0395>

e-posta³: kvarinca@adiyaman.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7932-2146>

1. Giriş

Hızlı nüfus artışına bağlı olarak insanların her geçen gün artan ihtiyaçlarının doğadaki sonuçları düşünülmeden karşılanması ile doğal kaynakların bilinçsiz tüketimi, çevre sorunlarını ortaya çıkaran sebepler arasında sıralanmaktadır. Çevre sorunları uluslararası düzeyde ilk olarak 1972 yılında Birleşmiş Milletlerin (BM) Stockholm’de yüzü aşkın ülkenin katılımıyla düzenlediği BM Çevre Konferansında ele alınmıştır [1]. Günlük hayatta etkisinin hissedilmesi ve zararları ciddi boyutlara ulaşan çevre sorunları bugün de dünya gündemini en çok meşgul eden konular arasında yer almaktadır.

BM Eğitim, Bilim ve Kültür Teşkilatı (UNESCO), BM Çevre Konferansının bir çıktısı olarak kurulan Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) ile birlikte konferansın 96 numaralı önerisini yerine getirmek üzere 1975 yılında Uluslararası Çevre Eğitim Programını (IEEP) başlatmıştır. Program kapsamında birçok faaliyet yürütülmüş olup 1977 yılında Tiflis’te düzenlenen Çevre Eğitimi Konferansı çevre eğitimi konusunda uluslararası bir dönüm noktası olmuştur [2].

Günümüzde çevre eğitimi okul öncesinden yükseköğretim ve yetişkin eğitime kadar tüm seviyelerde verilmesi gereken bir eğitim olup asıl amaç bireyin çevre okuryazarlığı (environmental literacy) edinmesi ve bu niteliğini artırmasıdır. Bu kapsamda Üniversitelerin hedeflerinden biri de, çalışma alanları ne olursa olsun tüm öğrencilerinin çevre okuryazarı olmalarına imkân tanımaktır. Bu aşamada ilk iş üniversite öğrencilerinin mevcut çevre okuryazarlığı seviyelerinin belirlenmesi ve buna göre strateji belirlenmesidir. Çevre okuryazarlığı ve üniversitelerde öğrencilerin çevre okuryazarlığı seviyelerinin tespitini yönelik birçok akademik çalışma bulunmaktadır.

Bu konuda Khalid yaptığı çalışmada [3], ilkökul öğretmen adaylarının sera etkisi, atmosferik ozon ve asit çökmesi sorunları hakkında sahip oldukları kavram yanlışlarını açıklamayı amaçlamıştır. Çalışmanın örneklemini 91 kadın, 22 erkek olmak üzere toplam 113 kişiden oluşmaktadır. Khalid'e göre, çalışmada tartışılan üç konu fen kavramlarını içerdiğinden, öğrencilerin bu konularla ilgili kavram yanlışları bilimsel bilgi eksikliğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle, gelecekteki gelişmeleri düşünmeye başlamadan önce, öğretmen eğitimi programlarında fen öğretiminin mevcut durumunun gözden geçirilmesini önermektedir.

Çabuk ve Karacoğlu'nun yaptığı çalışmada [4], Ankara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Fakültesi öğrencilerinin çevre duyarlılığına ilişkin görüşlerinin belirlenmesi amacıyla 439 öğrencinin bazı kişisel özelliklerinin (cinsiyet, yaş, devam ettikleri program ve sınıf) çevre duyarlılıklarına ilişkin görüşlerinde fark yaratıp yaratmadığı incelenmiştir. Çalışmada, 24 soruluk anket aracılığıyla öğrencilerin çevre duyarlılığı davranışlarına ve örgün eğitim kurumlarında aldıkları çevre eğitiminin yeterliliğine ilişkin görüşleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Erdal ve ark. yaptıkları çalışmada [5], Gaziosmanpaşa Üniversitesinin çeşitli fakülte ve yüksekokullarında okuyan 253 öğrencinin çevre ile ilgili konularda bilinç seviyelerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Elde edilen bulgulara göre; öğrencilerin %64’ü çevre ile ilgili konularda bilinçli buna karşın %36’sının bilinçsiz olduğu, yaklaşık %83’ünün çevrenin tümüne ve ona bağlı sorunlara ilişkin duyarlı oldukları, yaklaşık %65’inin üniversitelerde çevre dersinin zorunlu bir ders olarak okutulması gerekliliğini savundukları belirlenmiştir.

Şahin ve ark. [6] öğretmen adaylarının çevre okuryazarlık farkındalık düzeylerini anabilim dalı ve sınıf düzeyi değişkenine göre incelemek amacıyla farklı üniversitelerde öğrenim gören öğretmen adaylarına "Kişisel Bilgi Formu" ile "Çevre Okuryazarlığı Ölçeği" uygulamışlardır. Çalışmanın evrenini Celal Bayar ve Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, örneklemini ise 2014-2015 eğitim-öğretim yılında Sosyal Bilgiler, Türkçe, Fen Bilgisi ve Sınıf öğretmenliği anabilim dalında öğrenim gören 1. ve 4. sınıftan 1605 öğretmen adayı oluşturmuştur. Çalışma sonucunda 1. sınıf Sosyal Bilgiler, Türkçe, Fen Bilgisi ve Sınıf Öğretmeni adaylarının çevre bilgi, kullanım, tutum ve sorunlarına ilgi puanlarında öğrenim gördükleri anabilim dalına göre anlamlı fark bulunmamış; 4. sınıflarda ise anabilim dalına göre çevre bilgi, kullanım, tutum ve sorunlarına ilgi puanları arasında anlamlı bir fark bulunmuştur.

Teyfur yaptığı çalışmada [7] üniversite öğrencilerinin çevreye yönelik düşünme biçimlerini belirlemeyi amaçlamıştır. Çalışma grubu, 2013-2014 eğitim-öğretim yılında Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesinde öğrenim gören toplam 400 öğrenciden oluşmaktadır. Çalışma sonucunda öğrencilerin genel anlamda çevre merkezli düşünme biçimine sahip oldukları fakat bu durumun okudukları bölüme ve sınıflara göre farklılaştığı belirtilmiştir.

Demirtaş ve ark. çalışmalarında [8] Ankara Üniversitesi Beypazarı Meslek Yüksekokulu programlarında eğitim ve öğretim gören 237 öğrencinin “Yetişkinler için Çevre Okuryazarlığı” (ELSA) ölçeği aracılığıyla çevre sorunlarına yönelik görüşleri ve çevre okuryazarlık düzeyleri belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, öğrencilerin çevre okuryazarlığı ölçeğinden aldıkları puanlar değerlendirildiğinde çevre okuryazarlık düzeylerinin yüksek olduğu, bu düzeylerin cinsiyete göre, yurtdışına çıkıp çıkmamaya göre farklılık gösterdiği fakat öğrencilerin ailelerine ve oturdukları yerlere göre farklılık göstermediği tespit edilmiştir.

Çimen ve Benzer’in yaptığı çalışma [9], 2017-2018 eğitim-öğretim yılında Gazi Üniversitesi Eğitim Fakültesinde öğrenim görmekte olan 342 fen bilgisi ve 324 sınıf öğretmeni adayı ile “Kişisel Bilgi Formu” ve “Sürdürülebilir Çevre Tutum Ölçeği” veri araçları yardımıyla yapılmıştır. Çalışma sonucunda; fen bilgisi ve sınıf öğretmenliği bölümlerinde okuyan öğrencilerin sürdürülebilir çevreye yönelik tutumları yüksek düzeyde bulunmuştur. Ayrıca iki bölüm arasında istatistiksel olarak fen bilgisi öğretmenliği lehine anlamlı bir sonuç çıktığı görülmüş, bu farkın fen bilgisi öğretmenliği bölüm derslerinin (kimyada özel konular, çevre eğitimi, biyolojide özel konular, genel biyoloji 1) konuları arasında çevre ile ilgili bilgilerin daha fazla olmasından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.

Bu çalışma ise, Üniversiteyi yeni kazanmış öğrencilere yönelik olarak Üniversite ortamında diğer oryantasyon programlarının yanında çevre oryantasyonunun da verilmesi gerektiği fikrinden doğmuştur. Gerçekleştirilen Çevre Yönetim Oryantasyonu, Adıyaman Üniversitesinde ilk kez uygulanmasına rağmen, öğrenciler tarafından olumlu karşılanmıştır. Oryantasyona katılım sağlayan öğrencilerin ilgisinin çekildiği gözlemlenmiştir. Hazırlanan eğitim sunumu öğrencilere uygun çevre ile ilgili bilgiler, üniversite içerisinde çevre ile ilgili bilinmesi gerekenler ve üniversite içerisinde gösterilen görselleri içermektedir. Bu sayede öğrencilerin sunum sırasında sıkılmadan ve ilgiyle izledikleri gözlemlenmiştir. Oryantasyonda kullanılan sunumda verilen bilgiler çevre için bilgilerdir. Tüm bilgiler açık ve basit bir dille anlatılmıştır. Bunun da öğrencilerde kafa karışıklığına sebebiyet vermediği gözlemlenmiştir. Günlük hayatlarında kimilerinin uyguladığı kimilerinin ise hiç aklına gelmediği ve göz ardı ettiği, çöpleri çöp kutularına atmak, atıkları geri dönüşüm kutularına atmak, israf etmemek gibi birçok konu yanında bazı öğrencilerin daha önce hiç duymadıkları atık presleme, geri dönüşüm istasyonu gibi konulardan da bahsedilmiş ve bu konuların önemsiz olmadığı, küçümsenmeyecek konular olduğu, herkesin bu konuda üstüne düşen sorumluluklar olduğu belirtilmiştir. Bu konular bu tür eğitimlerle ne kadar göz önünde tutulursa, insanların o kadar dikkatini çekeceği düşünülmektedir.

2. Materyal ve Metod

2.1. Materyal

Eğitim Sunumu

Eğitim sunumu 53 slayttan oluşan 15 dakikalık bir sunumdur. Sunumun içerdiği konular ise şöyle sıralanabilir;

- Çevreye karşı görevler ve sorumluluklar ile ilgili giriş ve kısaca bilgi: Çevreyi temiz tutma, çöpleri çöp kutusuna atma vb.

- Geri Dönüşüm ile ilgili genel bilgiler: Atık nedir? Atıkların Sınıflandırılması, Atıkların Yok Olma Süreleri, Geri Dönüşüm Kutuları Bilgilendirme, Üniversitede bulunan geri dönüşüm kutuları örnekleri, Geri Dönüşüm İstasyonları

- Plastik Şişeler ile ilgili kapsamlı bilgilendirme: Pet şişelerin prenslenmesi ve geri dönüşümü ile ilgili bilgiler, Adıyaman Üniversitesinde yapılan Pet Şişe Toplama Etkinliği (Çevre Topluluğunca yapılmakta) örneği

- Sıfır Atık ile ilgili bilgiler: Sıfır Atık Projesi Nedir? 1 yılda toplanan atıklar ile sağlanan tasarruflar, Adıyaman Üniversitesinde sıfır atık projesi

- Dumansız Hava Sahası ile ilgili bilgiler: İhbar ve şikâyet birimi bilgisi, Sigarayı bıraktırma hattı bilgisi, Üniversitemizde Dumansız Hava Sahası ile ilgili yapılan uygulamalar.

Anket

Çalışmada öğrencilere üç bölümden oluşan bir anket uygulanmıştır. Birinci bölümde demografik özelliklerin belirlendiği 6 soru, ikinci bölümde çevre bilincinin ölçülmeye çalışıldığı 25 soru, üçüncü bölümde ise çevre yönetim organizasyonu ile ilgili bilgilerin ölçüldüğü 8 soru bulunmaktadır.

SPSS Programı

Çalışmada istatistiki bilgilerin analizi için SPSS programı versiyon 22.0 kullanılmıştır.

2.2. Yöntem

Çalışma, üç adımdan oluşmaktadır. Birinci adım, Adıyaman Üniversitesine yeni başlayan öğrenciler için Çevre Yönetimi Bilgilendirme Programının uygulanması; ikinci adım, öğrencilerde var olan çevre bilincinin ve eğitime katılan öğrencilerin bu bilinçlerindeki değişimin ölçülmeye çalışıldığı Çevre Yönetim Oryantasyon Anketinin uygulanması ve üçüncü adım ise anket sonuçlarının analiz edilerek değerlendirilmesini içermektedir.

Bu çalışmanın temel amacı, Adıyaman Üniversitesini yeni kazanan öğrencilerin çevre bilinci ve okuryazarlık düzeylerinin tespit edilerek “Çevre Yönetim Oryantasyonu” uygulaması ile bu düzeylerinde meydana gelen değişimlerin tespit edilmesidir. Çevre Yönetim Oryantasyonundaki amaç; Adıyaman Üniversitesine yeni başlayan öğrencilere burada yapılmış ve yapılacak olan çevre etkinliklerinden, çevreden, çevre kirliliğinden bahsetmek, çevre sorunlarına farkındalık oluşturup çözüm üretebilecek bireyler olmalarını sağlamaktır.

Özellikle gelecek nesillerin şekillenmesinde önemli bir aktör olan üniversite öğrencilerinin çevre bilinci düzeylerinin artırılması sürdürülebilir bir çevre oluşturulmasında oldukça önemli olabilmektedir. Bununla birlikte, kişilerde çevre bilincinin artırılmasına yönelik uygulanan “Çevre Yönetim Oryantasyonu” uygulamasının kişilerde çevre bilinci düzeyini ne ölçüde artırdığının tespit edilmesi hem politika yapıcılarına hem de sivil toplum kuruluşlarına önemli faydalar sağlayacağı düşünülmektedir.

2.2.1.Çevre Yönetim Bilgilendirme Programının uygulanması

2018-2019 Akademik Yılı Güz Yarıyılı başında 1-5 Ekim 2018 tarihleri arasında sadece Üniversiteye yeni başlayan 1. sınıf öğrencilerine yönelik olarak Çevre Yönetimi Bilgilendirme Program(lar)ı düzenlenmiştir. Programda, Çevre Yönetimi Bilgilendirme Sunumu sunulmuştur. Öğrenciler sunumu ilgiyle izlemiş, soru sorarak fikirlerini beyan etmişlerdir. Arapça Öğretmenliği, Aşçılık, Bilgisayar Programcılığı, Ebelik, Eczacılık, Hemşirelik, İlk ve Acil Yardım, İlköğretim Matematik Öğretmenliği, İnşaat Mühendisliği, İnşaat Teknolojisi, İşletme, Makine Teknolojisi, Psikolojik Danışmanlık ve Rehberlik, Sosyal Hizmet, Turizm ve Otel İşletmeciliği olmak üzere toplamda 15 programın öğrencilerine eğitim verilmiş ve anket uygulanmıştır.

2.2.2.Çevre Yönetimi Anketinin uygulanması

Çevre Yönetim Bilgilendirme Programının uygulanmasının ardından ayrıca anket uygulaması yapılmıştır. Anket uygulamasında toplamda 414 öğrenci anket doldurmuştur. Anketin 1. ve 2.

Bölümlerini bu 414 öğrencinin tümü, 3. Bölümünü ise sadece Çevre Yönetimi Bilgilendirme Programına katılan 146 öğrenci doldurmuştur.

2.2.3. Anket Sonuçlarının Analiz ve Değerlendirilmesi

Araştırmanın Sınırlılıkları ve Varsayımları

Öncelikle araştırmanın Adıyaman Üniversitesi Merkez Külliyesinde yapılmış olması ilk sınırlılıktır. Adıyaman Üniversitesi lisans ve ön lisans farkı gözetmeksizin bütün 1. sınıf öğrencilerini kapsamaması, 2, 3 ve 4. sınıf öğrencilerini kapsamaması da ayrı bir sınırlılık oluşturur. Araştırmanın lisans ve ön lisans düzeyindeki öğrencilerin dâhil edilmesi, yüksek lisans ve doktora düzeyinin dâhil edilmemesi de sınırlılıktır. Araştırmanın bir diğer sınırlılığı ise, üniversite içerisindeki tüm çalışanlara ve diğer kişilerin dâhil edilmemesi, yalnızca öğrencilerin dâhil edilmesidir.

Araştırmada öncelikle oryantasyon eğitimine bilinçli bir hâlde katılımın olduğu, araştırmanın bir varsayımdır. Bir diğer varsayım ise, eğitim sonrası yapılan anketlere katılan öğrencilerin anketleri dikkatle okuduğu ve sorulara samimi cevaplar verdiğiidir.

Çalışmanın Evren ve Örneklemi

Bu araştırmanın evreni Adıyaman Üniversitesi 1. Sınıf öğrencilerinden oluşmaktadır. Bu kapsamda Adıyaman Üniversitesi Öğrenci İşleri Daire Başkanlığı bilgilerine göre 2018-2019 akademik yılında üniversiteye kayıt yapan öğrenci sayısı 3.888 kişidir ve bu sayı çalışmanın evrenini ifade etmektedir. Araştırmanın evreni de örneklemi de Adıyaman Üniversitesi 1. Sınıf öğrencilerini kapsamaktadır. Çizelge 1’de verilen bilgilere göre bu büyüklükteki bir evren için yeterli olan örneklem büyüklüğü 351’dir. Bu çalışmada ise 414 öğrenci üzerinde anket uygulanmış ve söz konusu örneklem sayısının evreni temsil etme yeterliliğine sahip olduğu görülmektedir.

Çizelge 1. Belirli evrenler için kabul edilebilir örneklem büyüklükleri [10]

N	S	N	S	N	S	N	S
10	10	190	127	1100	285	5000	357
20	19	200	132	1200	291	6000	361
30	28	250	152	1300	297	7000	364
40	36	300	169	1400	302	8000	367
50	44	350	185	1500	306	9000	368
60	52	400	196	1600	310	10000	370
70	59	450	212	1700	313	15000	375
80	66	500	217	1800	317	20000	377
90	73	550	226	1900	320	30000	379
100	80	600	234	2000	322	40000	380
110	86	650	242	2200	327	50000	381
120	92	700	248	2400	331	75000	382
130	97	750	254	2600	335	100000	384
140	103	800	260	2800	338	1000000	384
150	108	850	265	3000	341	10000000	384
160	113	900	269	3500	346		
170	118	950	274	4000	351		
180	123	1000	278	4500	354		

N = Evren Büyüklüğü, S = Gerekli Örnek Büyüklüğü

Ölçümün Geçerliliği ve Güvenirliği

Öncelikle SPSS Programında ölçeklere ait çıkan katsayıların hangi aralıkta olduğuna bakılmaktadır. Croonbach Alfa sonuçları ve yorumları aşağıda verilmiştir [11].

- $0,00 \leq (\alpha) \leq 0,40$ olduğu zaman ölçek güvenilir değildir.
- $0,41 \leq (\alpha) \leq 0,60$ olduğu zaman ölçek düşük güvenirliliktir.
- $0,61 \leq (\alpha) \leq 0,80$ olduğu zaman ölçek orta düzeyde güvenilirdir.
- $0,81 \leq (\alpha) \leq 1,00$ olduğu zaman ölçek yüksek düzeyde güvenilirdir.

3. Araştırma Bulguları

3.1. Bulgu 1: Cronbach Alfa Katsayısı

İlk olarak anketlerin güvenirliliğini kontrol etmek amacıyla SPSS Programı yardımıyla her iki anketin de Cronbach Alfa Katsayıları bulunmaktadır ve bu bulunan katsayıların değerlik aralığının güvenilir olup olmadığı kontrol edilmektedir.

3.1.1. Pilot Uygulamadaki Anketlerin Cronbach Alfa Katsayıları

Esas uygulama gerçekleştirilmeden önce ölçekte yer alan maddelerin uygulanabilirliğini ve anlaşılabilirliğini tespit etmek ve ölçeğin güvenirliliğini anlayabilmek için evren içerisindeki örnekleme çerçevesinde 50 kişilik pilot bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Anketlerin Cronbach Alfa Katsayısı aşağıda verilmiştir:

- 25 soruluk Çevre Bilinci Anketinin pilot uygulamasının Cronbach Alfa Katsayısı: 0,874. Bu değer " $0,81 \leq (\alpha) \leq 1,00$ " aralığındadır, yani "ölçek yüksek düzeyde güvenilir"dir.
- 8 soruluk Çevre Yönetim Oryantasyon Anketinin pilot uygulamasının Cronbach Alfa Katsayısı: 0,698. Bu değer " $0,61 \leq (\alpha) \leq 0,80$ " aralığında olduğundan bu aralık için "ölçek orta düzeyde güvenilir"dir.

3.1.2. Uygulanan Asıl Anketlerin Cronbach Alfa Katsayıları

Çevre Bilinci Anketi:

Bu ankette 25 soru mevcuttur ve bu ankete 414 öğrenci katılmıştır. Cronbach Alfa Katsayısı "0,904"tür. Bulunan değer " $0,81 \leq (\alpha) \leq 1,00$ " aralığındadır ve "ölçek yüksek düzeyde güvenilir"dir.

Çevre Yönetim Oryantasyon Anketi:

Bu ankette 8 soru mevcuttur ve bu ankete 146 öğrenci katılmıştır. Cronbach Alfa Katsayısı "0,859"dur. Bulunan değer " $0,81 \leq (\alpha) \leq 1,00$ " aralığındadır ve "ölçek yüksek düzeyde güvenilir"dir.

Tespit edilen her iki anketin Cronbach Alfa Katsayısı "Yüksek Düzeyde Güvenilir"dir, ve diğer aşamaya geçilir.

3.2. Bulgu 2: Frekans ve Yüzde Analizi

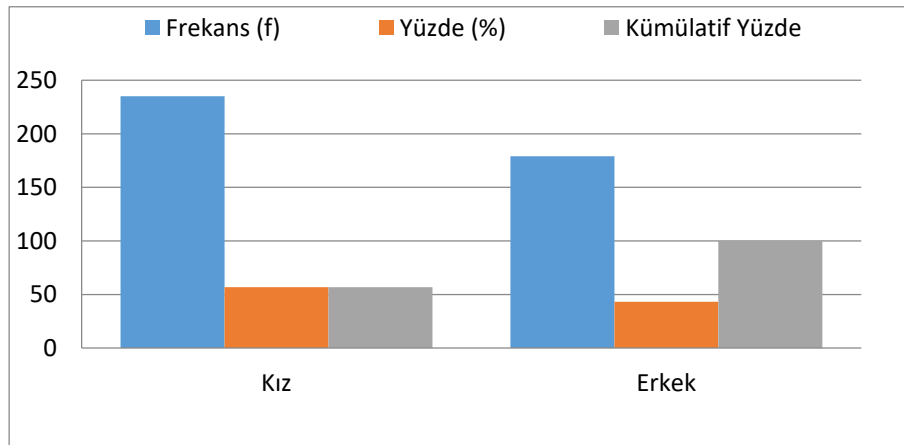
Ankete katılan öğrencilerin cinsiyet, yaş, eğitim gördükleri fakülte ve bölüm, anne ve babanın eğitim düzeyi gibi demografik ve tanıtıcı özelliklere öğrencilerin verdikleri cevaplar ile ilgili bir frekans ve yüzde analizi ayrı ayrı yapılmıştır. Tüm analizler Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Demografik ve tanıtıcı özellikler bakımından frekans ve yüzde analizleri

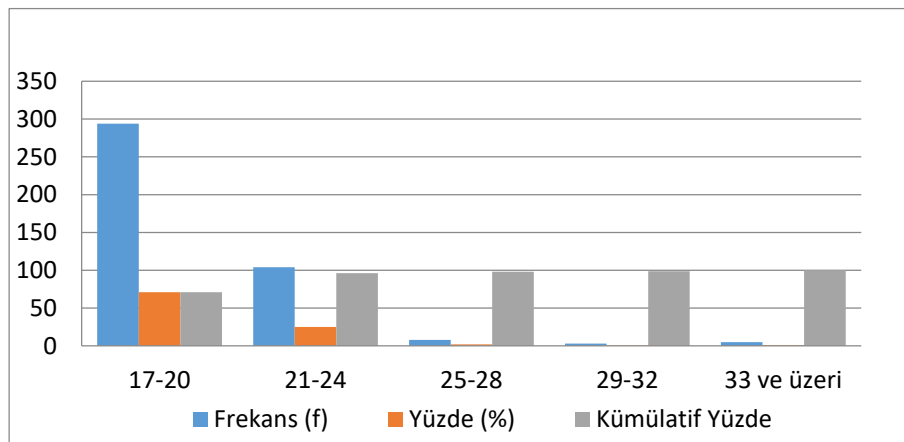
Cinsiyet	Frekans (f)	Yüzde (%)	Kümülatif Yüzde (%)
Kız	235	56,8	56,8
Erkek	179	43,2	100,0
Toplam	414	100,0	
Yaş			
17-20	294	71,0	71,0
21-24	104	25,1	96,1
25-28	8	1,9	98,1
29-32	3	0,7	98,8
33 ve üzeri	5	1,2	100,0
Toplam	414	100,0	
Fakülte			
Eczacılık Fakültesi	31	7,5	7,5
Eğitim Fakültesi	54	13,0	20,5
İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi	27	6,5	27,1
Mühendislik Fakültesi	44	10,6	37,7
Sağlık Hizmetleri MYO	54	13,0	50,7
Sağlık Yüksekokulu	116	28,0	78,7
Sosyal Bilimler MYO	26	6,3	85,0
Teknik Bilimler MYO	62	15,0	100,0
Toplam	414	100,0	
Bölüm			
Arapça Öğretmenliği	16	3,9	3,9
Aşçılık	8	1,9	5,8
Bilgisayar Programcılığı	29	7,0	12,8
Ebelik	19	4,6	17,4
Eczacılık	31	7,5	24,9
Hemşirelik	97	23,4	48,3
İlk ve Acil Yardım	54	13,0	61,4
İlköğretim Matematik Öğretmenliği	23	5,6	66,9
İnşaat Mühendisliği	44	10,6	77,5
İnşaat Teknolojisi	27	6,5	84,1
İşletme	9	2,2	86,2
Makine Teknolojisi	6	1,4	87,7
Psikolojik Danışmanlık ve Rehberlik	15	3,6	91,3
Sosyal Hizmet	18	4,3	95,7
Turizm ve Otel İşletmeciliği	18	4,3	100,0
Toplam	414	100,0	
Annenin Eğitim Durumu			
Okuryazar değil	88	21,3	21,3
Okuryazar	49	11,8	33,1
İlkokul mezunu	144	34,8	67,9
Ortaokul mezunu	64	15,5	83,3
Lise mezunu	49	11,8	95,2
Üniversite mezunu	20	4,8	100,0
Toplam	414	100,0	
Babanın Eğitim Durumu			
Okuryazar değil	19	4,6	4,6
Okuryazar	26	6,3	10,9

Çizelge 2 – Devamı			
Cinsiyet	Frekans (f)	Yüzde (%)	Kümülatif Yüzde (%)
İlkokul mezunu	134	32,4	43,2
Ortaokul mezunu	110	26,6	69,8
Lise mezunu	79	19,1	88,9
Üniversite mezunu	46	11,1	100,0
Toplam	414	100,0	
Çevre Yönetim Oryantasyonu			
Katıldım	146	35,3	35,3
Katılmadım	268	64,7	100,0
Toplam	414	100,0	

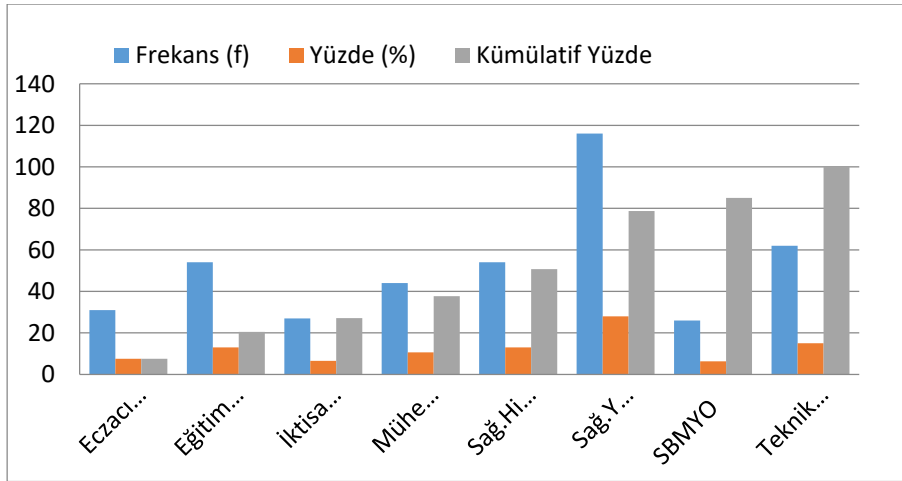
Çizelge 2'deki verilen bilgiler ışığında Cinsiyete göre frekans-yüzde grafiği Şekil 1'de, Yaşa göre frekans-yüzde grafiği Şekil 2'de, Fakülteye göre frekans-yüzde grafiği Şekil 3'te, Bölüme göre frekans-yüzde grafiği Şekil 4'te, Annenin eğitim durumuna göre frekans-yüzde grafiği Şekil 5'te, Babanın eğitim durumuna göre frekans-yüzde grafiği Şekil 6'da ve Çevre Yönetim Oryantasyonuna katılıp katılmadığına dair frekans-yüzde grafiği ise Şekil 7'de verilmiştir.



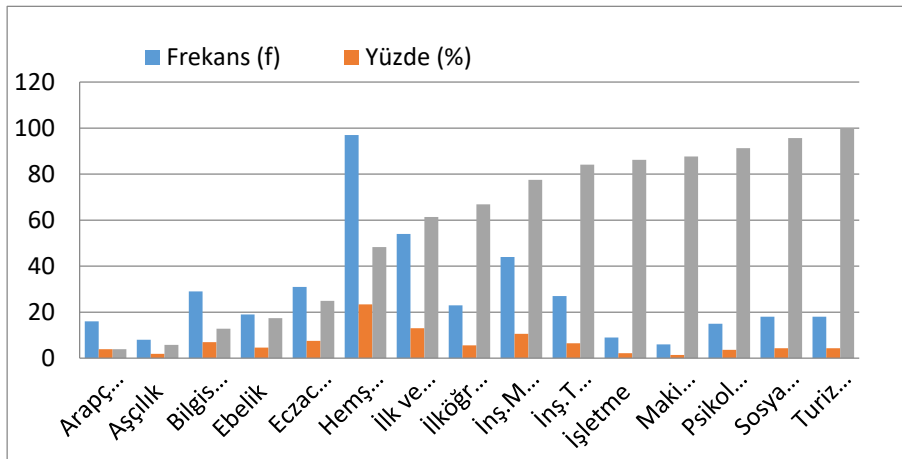
Şekil 1. Cinsiyete göre frekans-yüzde grafiği



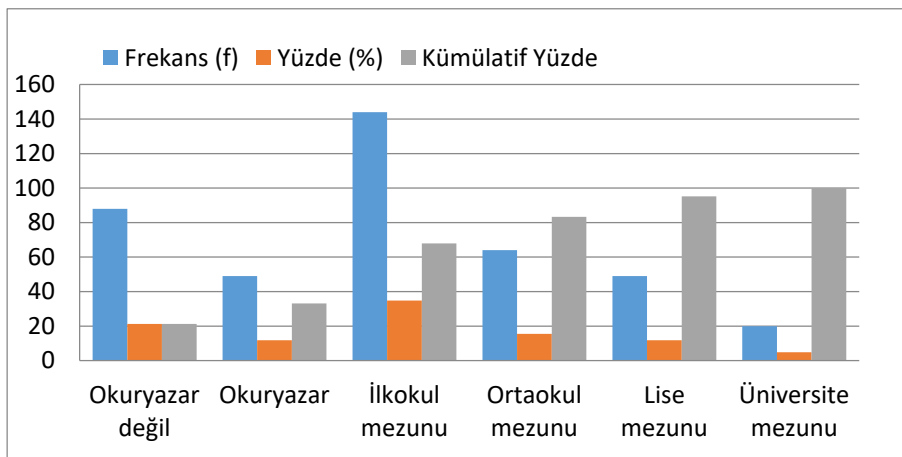
Şekil 2. Yaşa göre frekans-yüzde grafiği



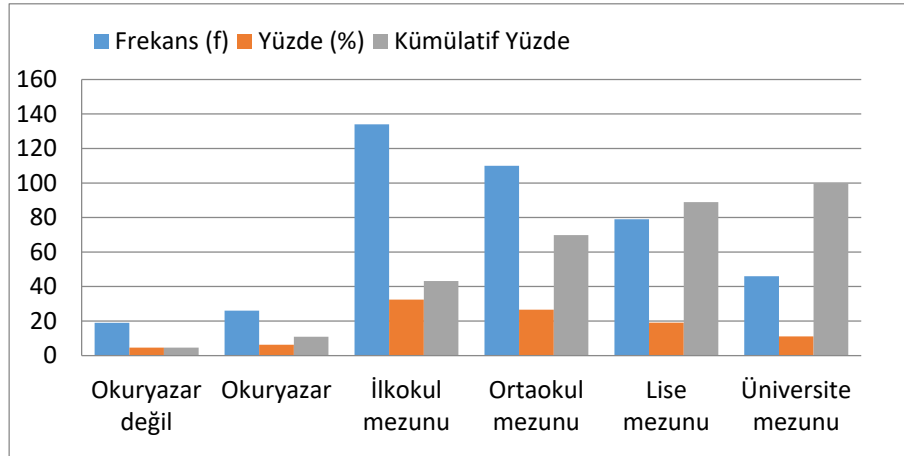
Şekil 3. Fakülteye göre frekans-yüzde grafiği



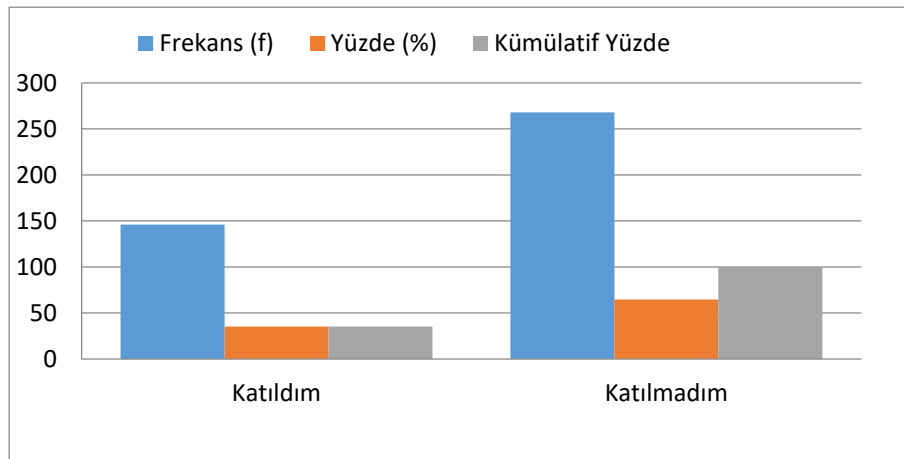
Şekil 4. Bölüme göre frekans-yüzde grafiği



Şekil 5. Annenin eğitim durumuna göre frekans-yüzde grafiği



Şekil 6. Babanın eğitim durumuna göre frekans-yüzde grafiği



Şekil 7. Çevre Yönetim Oryantasyonuna katılıp katılmadığına dair frekans-yüzde grafiği

3.3. Bulgu 3: Aritmetik Ortalama ve Standart Sapma Analizleri

Aritmetik ortalamaların aralık değerlerinin hangi seçeneğe isabet ettiği Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Aritmetik ortalamaların standart aralık değerleri ve sonuçları

Ağırlık Seçenekleri	Aritmetik Ortalamaların Aralık Değerleri	Sonuç
5 Çok Güçlü	4,20-5,00	Olumlu
4 Güçlü	3,40-4,19	
3 Orta	2,60-3,39	Ne olumlu ne de olumsuz
2 Zayıf	1,80-2,59	Olumsuz
1 Çok Zayıf	1,00-1,79	

1. Çevre Bilinci Anketindeki verilerin aritmetik ortalamaları ve standart sapmaları hesaplanmış ve Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. Çevre Bilinci Anketi Aritmetik Ortalama, Standart Sapma ve Sonuç tablosu

Sorular	N	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	Sonuç
1. Çevreyi korumak için görevlerimi ve sorumluluklarımı biliyorum.	414	4,19	0,92	Olumlu
2. Çevrenin korunması ve çevre kirliliğinin önlenmesi konusunda duyarlı ve bilinçliyim.	414	4,20	0,86	Olumlu
3. Bu çevre bilincini ve duyarlılığımı, günlük hayatımda uyguluyorum.	414	4,07	0,87	Olumlu
4. Bence genel olarak toplumumuzda çevre bilinci yeterli düzeyde değildir.	414	3,60	1,29	Olumlu
5. Çevre kirliliğinin nedenlerini biliyorum.	414	4,06	0,91	Olumlu
6. Çevre kirliliğinin doğaya ve insan sağlığına zararları konusunda bilgiliyim.	414	4,13	0,86	Olumlu
7. Çöplerimi çöp kutusuna atmaya özen gösteririm.	414	4,34	0,87	Olumlu
8. Çöplerin çevreye ve canlı sağlığına olumsuz etkileri hakkında bir fikre sahibim.	414	4,20	0,84	Olumlu
9. İnsanları çöplerin yere atılmaması konusunda duyarlı olmaları için uyarırım.	414	3,45	1,12	Olumlu
10. Atık, geri dönüşüm, geri kazanım ifadelerini daha önce duydum.	414	4,31	0,86	Olumlu
11. Atıkları, yeniden değerlendirilebilmeleri için geri dönüşüm kutularına atarım.	414	3,91	1,04	Olumlu
12. Geri dönüşüm kutularını ayırt edip, bir atığın hangisine atılması gerektiğini biliyorum? (Plastik, kâğıt, metal vb. geri dönüşüm kutuları)	414	4,23	0,97	Olumlu
13. Atıkların geri dönüştürülmesinin, çevrenin ve doğal kaynakların korunması açısından önemli olduğunu biliyorum.	414	4,32	0,86	Olumlu
14. Geri dönüşümün çevre kirliliğini önlemede etkisi olduğunu biliyorum.	414	4,35	0,81	Olumlu
15. Geri dönüşümün; insan sağlığına, doğaya, ülke ekonomisine çok büyük katkılarının biliyorum.	414	4,29	0,86	Olumlu
16. Kullanılmış pilleri, atık pil toplama kutularına atarım.	414	3,38	1,21	Ne Olumlu Ne de Olumsuz
17. Doğaya atılan atıkların ne kadar sürede yok olduğunu biliyorum.	414	3,24	1,16	Ne Olumlu Ne de Olumsuz
18. Üniversitemiz binalarında plastik, kâğıt, metal vb. atıkların ayrı ayrı toplanması için yeterli geri dönüşüm kutusu olduğunu düşünüyorum.	414	3,31	1,18	Ne Olumlu Ne de Olumsuz
19. Sıfır atık projesinin ne olduğunu biliyorum.	414	3,31	1,31	Ne Olumlu Ne de Olumsuz

Çizelge 4 – Devamı

Sorular	N	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	Sonuç
20. Sıfır atık projesin hedefleri ve bu projeye sağlanan tasarrufları biliyorum.	414	3,29	1,26	Ne Olumlu Ne de Olumsuz
21. Dumansız Hava Sahası'nın ne olduğunu biliyorum.	414	4,10	1,01	Olumlu
22. Dumansız Hava Sahası uygulamasında uyulması gereken kuralları biliyorum.	414	3,90	1,10	Olumlu
23. Çevrenin kirletilmemesi konusunda çevremdekileri bilinçlendirmeye çalışırım.	414	3,61	1,11	Olumlu
24. Çevre bilinci kazanmamı sağlayacak bir proje ve/veya seminerde yer aldım	414	2,77	1,38	Ne Olumlu Ne de Olumsuz
25. Çevre ile ilgili çalışma yapan kurum ve kuruluşları biliyorum.	414	3,41	1,13	Olumlu

Mevcut 25 sorunun aritmetik ortalaması “3,68” olarak hesaplanmıştır ve “3,40-4,19” aralığındadır, yani “olumlu”dur. En yüksek aritmetik ortalamaya sahip soru, 14. sorudur; “ $x=4,35\pm 0,81$ ” aritmetik ortalamasına sahip, bu da “4,20-5,00” değerleri arasında yani “olumlu”dur. En düşük aritmetik ortalamaya sahip soru, 24. sorudur. “ $x=2,77\pm 1,38$ ” aritmetik ortalamasına sahip, bu da “2,60-3,39” değerleri arasında yani “ne olumlu ne de olumsuz”dur.

2. Çevre Yönetim Oryantasyonu Anketindeki verilerin aritmetik ortalamaları ve standart sapmaları hesaplanmış ve Çizelge 5’te verilmiştir.

Çizelge 5. Çevre Yönetim Oryantasyonu Anketi Aritmetik Ortalama, Standart Sapma ve Sonuç tablosu

Sorular	N	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	Sonuç
26. Çevre Yönetim Oryantasyon eğitimine katıldım.	146	4,43	0,95	Olumlu
27. Çevre Yönetim Oryantasyonu'nun amacını ve önemini biliyorum.	146	4,10	0,88	Olumlu
28. Çevre Yönetim Oryantasyonu eğitimini ciddi bir şekilde dinledim ve gözlemlerim.	146	3,94	0,96	Olumlu
29. Çevre Oryantasyon eğitiminde, daha önce hiç duymadığım, çevre ile ilgili bilgiler öğrendim? (Geri Dönüşüm Kutuları ve İstasyonları, Sıfır Atık, vb.)	146	3,88	0,99	Olumlu
30. Çevre Yönetim Oryantasyon eğitimi ile Adıyaman Üniversitesi içindeki, çevreye dair uygulamaları öğrendim. (Yeşil Oda, Dumansız Hava Sahası vb.)	146	3,98	1,01	Olumlu
31. Çevre Yönetim Oryantasyon eğitimi ile çevre konusunda bilinçlendim.	146	4,23	0,79	Olumlu
32. Çevre Yönetim Oryantasyon eğitimi, oldukça verimli oldu.	146	4,14	0,90	Olumlu
33. Çevre Yönetim Oryantasyon eğitiminde öğrendiğim tüm bilgileri günlük hayatımda kullanabiliyorum.	146	3,78	1,07	Olumlu

Mevcut 8 sorunun aritmetik ortalaması “4,06” olarak hesaplanmış olup “3,40-4,19” aralığındadır yani “olumlu”dur. En yüksek aritmetik ortalamaya sahip soru, 26. sorudur. Bu soru seçici bir soru olduğu için en yüksek aritmetik ortalamaya sahip ikinci soruya da bakılmaktadır. 31. sorudur, “ $x=4,23\pm 0,79$ ” aritmetik ortalamasına sahip, bu da “4,20-5,00” değerleri arasındadır yani “olumlu”dur. En düşük aritmetik ortalamaya sahip soru, 33. sorudur, “ $x=3,78\pm 1,07$ ” aritmetik ortalamasına sahip, bu da “3,40-4,19” değerleri arasında yani “olumlu” dur.

4. Sonuç ve Değerlendirme

Çevre Yönetim Oryantasyon Programı, Üniversiteye yeni başlayan öğrencilere yönelik olarak Üniversitedeki çevre yönetimi, atık yönetimi, çevresel sorumluluklar, çevresel etkinlikler konusunda bir bilgilendirme, bilinçlendirme ve farkındalık programıdır. Oluşturulan Çevre Yönetim Oryantasyon Programı Adıyaman Üniversitesinde uygulanmış ve çıktıları değerlendirilmiştir.

Çalışma, üç adımdan oluşmaktadır. Birinci adım, Adıyaman Üniversitesine yeni başlayan öğrenciler için Çevre Yönetimi Bilgilendirme Programının düzenlenmesi; ikinci adım, öğrencilerde var olan çevre bilincinin ve eğitime katılan öğrencilerin bu bilinçlerindeki değişimin ölçülmeye çalışıldığı Çevre Yönetim Oryantasyon Anketinin uygulanması ve üçüncü adım ise anket sonuçlarının analiz edilerek değerlendirilmesini içermektedir.

Buna göre programa katılan öğrencilerin bilgi ve bilinç düzeyleri program öncesi ve sonrası şeklinde ölçülmüş ve programın etkinliği uygulanan anket sonuçları vasıtasıyla değerlendirilmiştir. Uygulanan anket sonuçları belli özelliklere bağlı olarak istatistiksel olarak incelenmiş, sonuçlar SPSS programında yüzde, frekans ve aritmetik ortalama bakımından değerlendirilmiştir.

Çevre Bilinci Anketine katılım sağlayan 414 öğrencinin; 235’i kız (%56,8), 179’u erkek (%43,2) öğrencidir. Öğrencilerin; %71’i yani oldukça büyük bir çoğunluğunu 17-20 yaş grubu, %25,1’ini 21-24 yaş grubu, %1,9’unu 25-28 yaş grubu, en az oran olan %0,7’sini 29-31 yaş grubu ve %1,2’sini ise 31 ve üzeri yaş grubu oluşturmuştur. Çevre Bilinci Anketi frekans-yüzde analizi sonucunda “olumlu” ve “ne olumlu ne de olumsuz” sonuçlarının çıktığı görülmüş, bunun yanında “olumsuz” sonucu çıkmamıştır. Bu durum öğrencilerin kararsızlıklarını göstermektedir. Çevre Bilinci Anketine katılan öğrenciler için cevapların sonuçlarına bakılarak şunlar söylenebilir:

- Öğrencilerin çoğu; çevreyi korumak için görevlerini, sorumluluklarını bildiklerini, çevreyi korumak ve kirlenmesini önlemek konusunda duyarlı olduklarını ve bunu günlük hayatlarına uyguladıklarını belirtmişlerdir. Ayrıca çevrenin kirlenmemesi konusunda çevrelerindeki kişileri de uyardıklarını belirtmişlerdir.
- Toplumun çevre bilincinin yeterli düzeyde olmadığı olgusuna katılmışlardır.
- Çevre kirliliğinin sebeplerini, doğa ve insan sağlığına zararlarını bildiklerini ve çöpleri çevreye atmadıklarını bu konuda duyarlı olduklarını belirtmişlerdir.
- Atık ve geri dönüşüm konusunda fikirleri olduğunu, atıkların geri dönüşümünün ülkeye ve doğaya katkılarını bildiklerini, atıkların geri dönüşüm kutusuna atılması gerektiğini bildiklerini belirtmişlerdir.
- Dumansız Hava Sahasının ne olduğunu ve kurallarını bilmektedirler.
- Çevre ile ilgili çalışma yapan kurum ve kuruluşlar hakkında fikirleri mevcuttur.
- Kullanılmış pilleri atık pil toplama kutularına atma konusunda kararsızlardır yani bu konuda eksiklik mevcuttur.
- Doğaya atılan atıkların yok olma süreleri konusunda bilgiye sahip olmadıkları görülmüştür.
- Sıfır Atık Projesi konusunda da “ne olumlu ne olumsuz” orta derece sonuç çıkmıştır.
- Çevre ile ilgili bilgi alınabilecek proje ve seminerlere de katılım konusunun orta derece olduğu görülmüştür.

Çevre Yönetim Oryantasyonu Anketine katılım sağlayan 146 öğrencinin, 83'ü kız, 63'ü erkek öğrencidir. Anketin aritmetik ortalamalarına bakılarak verilen cevapların düzeylerinin hepsinin olumlu olduğu tespit edilmiştir. Çevre Yönetim Oryantasyonuna katılan öğrenciler için anket verilerine bakılarak şunlar söylenebilir:

- Öğrenciler Çevre Yönetim Oryantasyonunun amacını ve önemi bilerek bu eğitimi ciddi bir şekilde dinlemiş ve gözlemlemiştir.
- Öğrenciler Çevre Yönetimi Oryantasyonunda daha önce duymadıkları çevre ile ilgili bilgiler öğrenmiş ve aynı zamanda Adıyaman Üniversitesi içindeki çevreye dair uygulamaları öğrenmişlerdir.
- Öğrenciler bu oryantasyon sayesinde çevre konusunda bilinçlenmiş, oryantasyonu verimli bulup öğrendikleri bilgileri günlük hayatlarında da kullanmaya başlamışlardır.

Uygulama sonucunda öğrencilerin çevre ile ilgili basit gündelik bilgileri bildiği fakat birçok konuya hâkim olmadıkları görülmüş, kısa bir oryantasyon programının bile bilgi ve bilinç düzeylerinde ciddi farklar oluşturduğu değerlendirilmiştir. Sonuçta Üniversitelerde yeni başlayanlardan başlamak üzere tüm öğrencilere yönelik olarak Çevre Yönetim Oryantasyon Programının belirli aralıklarla farklılaşan içerik ile verilmesinin bireylerin çevresel bilgi ve bilinç düzeylerine ciddi katkılarda bulunacağı sonucuna varılmıştır.

Elde edilen bulgu ve sonuçlar daha önceki çalışmalar ile de paralellik göstermektedir. Yani belli bir düzey çevre bilinci ve okuryazarlığı toplumsal olarak kazanılmış olarak Üniversiteye gelmekte ancak bir üniversite mezunu için yeterli olmayacak bu düzeyin artırılması için çevre oryantasyon programı ve akabinde öğretim programlarının içinde çevre derslerinin yer alması gerektiği görülmektedir.

Bu değerlendirmeler ışığında, kişilerde çevre bilincinin oluşturulması ve mevcut bilinç düzeylerinin artırılması için Çevre Yönetim Oryantasyon Programının düzenli olarak hem üniversiteye yeni başlayan öğrencilere hem de mevcut tüm öğrencilere uygulanması önerilmektedir. Ayrıca, Çevre Yönetim Oryantasyon Programının kamu kurum ve kuruluşlarında görev yapan tüm personele ve çevre ile ilgili kamu kurumu ve sivil toplum kuruluşları aracılığı ile tüm bireylere uygulanması suretiyle çevre bilinci ve okuryazarlığının toplumsal alanın tamamında yaygınlaştırılması da önerilmektedir.

Teşekkür

Bu makale, yazar Büşra Kuş'un yazar Kamil B. Varınca danışmanlığında hazırlamış olduğu bitirme tezinden türetilmiştir. Yazarlar, çalışmanın uygulama alanı olarak Adıyaman Üniversitesinde yürütülmesine izin verip destek olan Adıyaman Üniversitesi Rektörlüğüne teşekkür ederler.

Kaynaklar

- [1]. UN (The United Nations), “*United Nations Conference on the Environment*”, 5-16 June 1972, Stockholm. <https://www.un.org/en/conferences/environment/stockholm1972>
- [2]. UNESCO (The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization), “*Activities of the UNESCO-UNEP International Environmental Education Programme (1975-1983)*”, ED.84/WS/36, Paris, 1984. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000059759>
- [3]. Khalid, T., “*Pre-Service Teachers’ Misconceptions Regarding Three Environmental Issues*”, Canadian Journal of Environmental Education (CJEE), 2001, 6(1), 102-120.
- [4]. Çabuk, B., Karacaoğlu, C., “*Üniversite Öğrencilerinin Çevre Duyarlılıklarının İncelenmesi*”, Ankara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Fakültesi Dergisi, 2003, 36 (1-2), 189-198.

- [5]. Erdal, H., Erdal, G., Yüce, M., “*Üniversite Öğrencilerinin Çevre Bilinç Düzeyi Araştırması: Gaziosmanpaşa Üniversitesi Örneği*”, *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 2013, 4, 57-65.
- [6]. Şahin, S., Ünlü, E., & Ünlü, S., “*Öğretmen Adaylarının Çevre Okuryazarlık Farkındalık Düzeylerinin İncelenmesi*”, *Education Sciences*, 2016, 11(2), 82-95.
- [7]. Teyfur, E., “*Üniversite Öğrencilerinin Çevreye Yönelik Görüşleri*”, *Iğdır Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 2017, 11, 73-87.
- [8]. Demirtaş, N., Akbulut, M., & Özşen, Z., “*Üniversite Öğrencilerinin Çevre Okuryazarlığı Üzerine Bir Araştırma: Beypazarı Meslek Yüksekokulu Örneği*”, *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 2018, 3(1), 27-33.
- [9]. Çimen, H., & Benzer, S., “*Fen Bilgisi ve Sınıf Öğretmen Adaylarının Sürdürülebilir Çevreye Yönelik Tutumlarının İncelenmesi*”, *İnsan ve İnsan*, 2019, 6(21), 525-542.
- [10]. Altunışık, R., Coşkun, R., Bayrakoğlu, S., Yıldırım, E., “*Sosyal Bilimlerde Araştırma Yöntemleri SPSS Uygulamalı*”, *Sakarya Yayıncılık*, 7. Baskı, 2012, Sakarya.
- [11]. Akgül, A. ve Çevik, O., “*İstatistiksel Analiz Teknikleri: SPSS’te İşletme Yönetimi Uygulamaları*”, 2003, Ankara.

BİO ÇEKİRDEKLİ SANDVIÇ YAPILARIN KENAR BASMA MUKAVEMETİ DAVRANIŞLARININ ARAŞTIRILMASI

Tuğberk ÖNAL^{1*}, Şemsettin TEMİZ²

¹Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Hekimhan MES MYO, Makine ve Metal Tek. Bölümü., Malatya, 44400, Türkiye

²İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Malatya, 44400, Türkiye

Geliş tarihi: 15.03.2021 Kabul tarihi: 24.05.2021

ÖZET

Sandviç yapılar, farklı kullanım alanlarına bağlı olarak çeşitli basma yüklerine maruz kalabilmektedir. Yapının basma yükü altındaki gerilme değerleri ve hasar tiplerinin belirlenmesi tasarım açısından önem arz etmektedir. Bu çalışmada, bio çekirdekli sandviç kompozit malzemelere ASTM C364 standardına uygun olarak kenar basma testleri uygulanmıştır. Testler sonucunda çekirdek kalınlığı, dış yüzey tabaka sayısı ve oryantasyon diziliminin maksimum hasar yükü ve hasar şekli üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çekirdek yapıda kullanılan balsa odunlarının kalınlığı sırasıyla 4, 6, 8 ve 10 mm olarak seçilmiş, dış yüzeylerde ise 8 ve 12 tabakalı 0°, 0/90° ve ±45° oryantasyon dizilime sahip cam elyaf-epoksi kompozitler seçilmiştir. Sandviç malzemeler vakum infüzyon yöntemi (VARTM) kullanılarak balsa odunu ve cam elyaf takviyeli kompozitler birlikte üretilmiştir. Yapılan testler sonucunda gözlemlenen belirgin hasar tipleri sırasıyla; ara yüzey ayrılması, burkulma ve çekirdek hasarıdır.

Anahtar Kelimeler: Sandviç kompozit, Balsa, Cam elyaf/epoksi, Kenar basma, Vakum infüzyon.

INVESTIGATION OF EDGEWISE COMPRESSION STRENGTH OF BIO-CORE SANDWICH STRUCTURES

ABSTRACT

Sandwich structures can be exposed to various compression loads depending on their different usage areas. Determining the stress values and damage types of the structure under compression is important in terms of design. In this study, edgewise compression tests were applied to bio-core sandwich composite materials in accordance with ASTM C364 standard. As a result of the tests, the effects of core thickness, number of outer surface layers and orientation sequence on the maximum damage load and damage pattern were examined. The thickness of the balsa woods used in the core structure was chosen as 4, 6, 8 and 10 mm, on the outer surfaces, glass fiber-epoxy composites with 8 and 12 layers of 0°, 0/90° and ±45° orientation were selected. Sandwich materials were produced together using the vacuum infusion method (VARTM), balsa wood and glass fiber reinforced composites. As a result of the tests, the obvious damage types observed are; interface separation, buckling and core damage.

Keywords: Sandwich composite, Balsa, Glass fiber/epoxy, Edgewise compression, Vacuum infusion.

1. Giriş

Sandviç malzemeler, uzay endüstrisi, havacılık, kara taşıtları, denizcilik ve çeşitli mühendislik alanlarında ihtiyaç duyulan mekanik özellikleri sağlamak amacıyla farklı malzemelerin bir araya getirilmesi ile elde edilir [1]. Bu yapılar, üç ana elemandan meydana gelmektedir. Dış yüzeylerde ince ve yüksek mukavemetli malzemeler seçilmektedir. Çekirdek olarak adlandırılan orta kısımda ise düşük yoğunluklu, kalın ve düşük mukavemetli yapı bulunmaktadır. Ayrıca bu iki elemanı bir arada tutan

* e-posta: tugberk.onal@ozal.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3491-7939> (Sorumlu Yazar)

e-posta: semsettin.temiz@inonu.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6737-3720>

yapıştırıcı eleman mevcuttur [2]. Dış yüzeylerde, yüksek “dayanım/ağırlık” oranı, yüksek korozyon direnci ve ısı direnç gibi üstün özelliklerinden dolayı fiber takviyeli kompozit malzemeler sıklıkla tercih edilmektedir. Çekirdek elemanda ise farklı geometri ve yoğunluktaki çeşitli malzeme türleri kullanılmaktadır. Bunların başında sentetik malzemelerden imal edilen poliüretan ve vinilester köpük, bio kaynaklı balsa odunu ve balpeteği geometri yapılar gelmektedir [3].

Lifli ve gözenekli bir yapıya sahip olan balsa ağacı, endüstriyel kullanımda yoğunluğu 40-380 kg/m³ aralığında değişen, Orta ve Güney Amerika yağmur ormanlarında yetişen tropikal bir türdür. Balsa odununun mekanik özellikleri, büyük ölçüde yoğunluğa bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bununla birlikte ağaç yaşı, yaşam alanı ve kesim yönü de yapı mukavemetini doğrudan etkilemektedir. Ağaç, tranelere ve kapalı bir hücre yapısına sahip olmasından dolayı düşük yoğunluklu bir özellik göstermektedir. [4, 5, 6].

Vadake ve Carlsson [7] çekirdek yapıda PVC köpük kullanılan sandviç malzemelere kenar basma testleri uygulamıştır. Numune boyu, çekirdek yoğunluğu ve kalınlığı değişiminin kritik hasar yükü ve hasar mekanizması üzerindeki etkilerini incelemiştir. Silva ve Kyriakides[8] farklı kesim yönlerinde hazırlanan balsa numunelere eğilme ve basma testleri uygulamıştır. Yapının radyal ve teğetsel yönlerde kesildiğinde daha düşük mukavemetli ve yumuşak olduğunu gözlemiştir. “Dayanım/ağırlık” oranı göz önüne alındığında, sandviç çekirdekte kullanılan diğer malzeme türleri ile karşılaştırılabilir olduğunu belirlemiştir. Tagarielli ve ark. [9] sandviç yapılara farklı şekil değiştirme hızı değerlerinde tek eksenli basma yükü uygulamıştır. Yapılan çalışma sonucunda şekil değiştirme hızına bağlı olarak basma dayanımı değerlerini belirlemiştir. Borrega ve Gibson [5] yoğunluğu 60 ile 380 kg/m³ arası değişen balsa odunlarına basma, eğilme ve burkulma testleri uygulamıştır. Çalışma sonucunda balsa yoğunluğunun mekanik özellikler üzerinde doğrudan etkili bir parametre olduğunu belirlemiştir. Karaduman ve Önal [10] çekirdek yapıda polyster köpük, balsa odunu ve polipropilen balpeteğinin kullanıldığı sandviç kompozitlere düşük hızlı darbe, eğilme ve basma testleri uygulamıştır. Yapının dış yüzeylerinde kullanılan kompozit malzemelerdeki jüt oranı ve çekirdek kalınlığı değişiminin sonuçlar üzerindeki etkilerini incelemiştir. Aslan ve ark. [11] dış yüzeylerde cam ve karbon elyaf, çekirdek elemanda ise alüminyum bal peteği, polipropilen bal peteği ve polietilen terafitalat köpük kullanılan sandviç numunelere eğilme kenar basma ve yüzey basma testleri uygulamıştır. Çekirdek yapıda kullanılan malzemelerin sonuçlar üzerindeki etkilerini karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Solmaz ve Çelik[12] çekirdek yapıda ABS ve PLA termoplastiklerin kullanıldığı, 3D yazıcıda üretimi yapılan balpeteği yapı sandviç malzemelere basma testleri uygulamıştır. Yapının alt ve üst yüzeylerinde cam fiber takviyeli kompozit malzemeler kullanmıştır. Sonuç olarak PLA'nın ABS malzemesine göre daha üstün özelliklere sahip olduğunu belirlemiştir. Kıyak ve Kaman [13] dış yüzeylerde ve çekirdek yapıda karbon fiber takviyeli kompozitlerin kullanıldığı sandviç yapılara kenar basma testleri uygulamıştır. Çekirdek malzemedeki kullanılan kompozitler kare kesitli olarak hazırlanmış ve numune yüksekliği ve yoğunluğunun sonuçlar üzerindeki etkilerini incelemiştir. ANSYS programında kritik burulma yükünü hesaplamış ve deneysel sonuçlar ile karşılaştırmıştır. Susainathan ve ark. [14] farklı enerji değerlerinde darbe ön hasarı uygulanan kontrplak çekirdekli sandviç numunelere basma testleri uygulamış ve hasarsız numuneler ile karşılaştırmıştır. Osmanoğlu ve ark. [15] tek ve çift eksenli karbon fiber kompozitlerin kullanıldığı sandviç yapılara eğilme ve basma testleri uygulamıştır. PVC köpük çekirdek kalınlığı ve kompozit oryantasyon dizilimi değişiminin sonuçlar üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çekirdek kalınlığı artışının basma ve eğilme dayanımını düşürdüğünü belirlemiştir. Najafî ve Eslami-Farsani [16] köpük çekirdekli sandviçlerin yapısal alandaki kullanımlarını arttırmak amacıyla çekirdek elemana hibrit bir model önermiştir. Buna göre, köpük elemanın alt ve üst yüzeylerine mantar ve aynı zamanda yapı içerisinde kafes elemanı birlikte kullanmıştır. Üretilen numunelere mekanik testler uygulamıştır. Kenar basma testleri sonucu elde edilen sonuçlar incelendiğinde yeni tasarlanan modelin yük taşıma kapasitesinin geleneksel köpük çekirdekli sandviçlere göre arttığı belirlenmiştir. Cui ve ark. [17] jeopolimer çekirdekli sandviç kompozit malzemelerin üç nokta eğilme ve kenar basma deneyimlerini incelenmiştir. Numune boyunun arttırılmasının kritik hasar yükü değerini düşürdüğünü belirlemiştir. Ashraf ve Isaac [18] keten ve cam fiber kumaşların farklı sıralarda istiflenerek üretildiği balpeteği çekirdekli sandviç yapıların mekanik özelliklerini incelemiştir. Sadece cam fiber ve keten kumaşların kullanıldığı yapılarla hazırlanan numuneler hibrit modeller ile karşılaştırılmıştır. Yang ve

ark. [19] bambu ahşabının dayanımı arttırmak için bazalt lifli kompozitlerin ve bambu ahşabının kullanıldığı sandviç yapılara eğilme, kenar basma, çekme ve kayma testleri uygulamıştır. Yapılan tesler sonucunda bambu ahşabının kenar basma dayanımı, sandviç olarak kullanıldığında %21 arttığı belirlenmiştir.

Bu çalışmada, vakum infüzyon yöntemi ile üretimi gerçekleştirilen sandviç kompozit malzemelere kenar basma testleri uygulanmıştır. Testler sonucunda çekirdek kalınlığı değişimi, dış yüzey tabaka sayısı ve oryantasyon açısı değişiminin maksimum hasar yükü ve hasar şekli üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çekirdek elemanda 170 kg/m^3 yoğunluklu 4, 6, 8 10 mm kalınlığındaki balsa odunları kullanılmıştır. Dış yüzeyleri oluşturan kompozit malzemeler 330 gr/m^2 tek eksenli, 600 gr/m^2 0/90° ve $606 \text{ gr/m}^2 \pm 45^\circ$ iki eksenli cam elyaf kumaşlar kullanılmıştır. Kompozit yapının matris elemanı olarak epoksi reçine seçilmiştir. Testler ASTM C364 standardına uygun olarak İnönü Üniversitesi Makine Mühendisliği laboratuvarlarında bulunan 100kN kapasiteli Shimadzu marka test cihazında yapılmıştır. Standartta belirtildiği gibi testler sırasında çeneler ile numunelerin temas ettiği bölümlerde ara yüzey ayrılmalarından dolayı erken hasarların oluşmaması için numunelerin alt ve üst yüzeylerine Şekil 1’de görüldüğü gibi kelepçe şeklinde aparatlar takılmıştır [20].



Şekil 1. Kenar basma test düzeneği.

2. Materyal ve Metot

Test numuneleri cam elyaf kumaşların arasına balsa odunu yerleştirilerek vakum infüzyon yönteminde birlikte üretilmiştir. Dış yüzeyler ile çekirdek eleman arasında ayrıca bir yapıştırıcı kullanılmamıştır. VARTM, Vakum basıncı altında elyaflara reçine emdirilmesi esasına göre üretimin gerçekleştirildiği bir yöntemdir [21]. Sandviç numunelerin üretiminde, vakum altında hazırlanan balsa ve cam elyaf malzemelere epoksi ve sertleştirici karışımı emdirilmiştir. Karışım, Toplam kumaş ağırlığının yaklaşık %70-75’i kadar reçine ve sertleştirici ağırlıkça 100:25 oranında birleştirilerek hazırlanmıştır. Matris elemanı olarak MGS laminasyon epoksi reçine L160 ve epoksi reçine sertleştirici H160 seti kullanılmıştır. Sıvı karışım, pompa ile vakum ortamına aktarılmış ve fiberlerin tamamı ıslanana kadar yaklaşık 0,93 bar basınçta infüzyon işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Üretimde kullanılan sarf malzeme, balsa odunu ve cam fiber kumaşların dizilimi.

Şekil 2’de üretim sonrası sandviç plakanın sarf malzemelerden ayrılması için kullanılan soyma kumaşı, reçine akışını kolaylaştırmak için kullanılan akış filesi ve vakum torbasının dizilimi verilmiştir. Üretim sonrası alt ve üst yüzeyleri oluşturan kompozit malzemelerin kalınlığı 8 ve 12 tabakalı numuneler için sırasıyla 2 mm ve 3 mm dir. Bununla birlikte sandviç yapıyı oluşturan elemanların mekanik özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir.

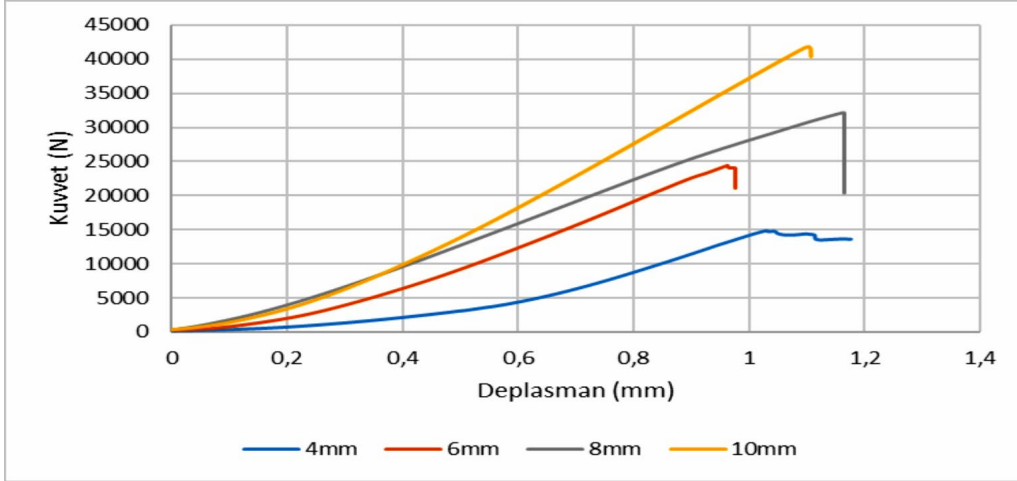
Çizelge 1. Sandviç yapıda kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri.

	Yoğunluk (kg/m ³)	Çekme mukavemeti (MPa)	Basma mukavemeti (MPa)	Kayma mukavemeti (MPa)
Balsa	170	23,16	17,32	3,29
0° cam fiber kompozit	1841	848,5	300,52	59,98
0/90° cam fiber kompozit	1841	473,87	224,52	53,82
±45° cam fiber kompozit	1896	80,25	99,44	116,59

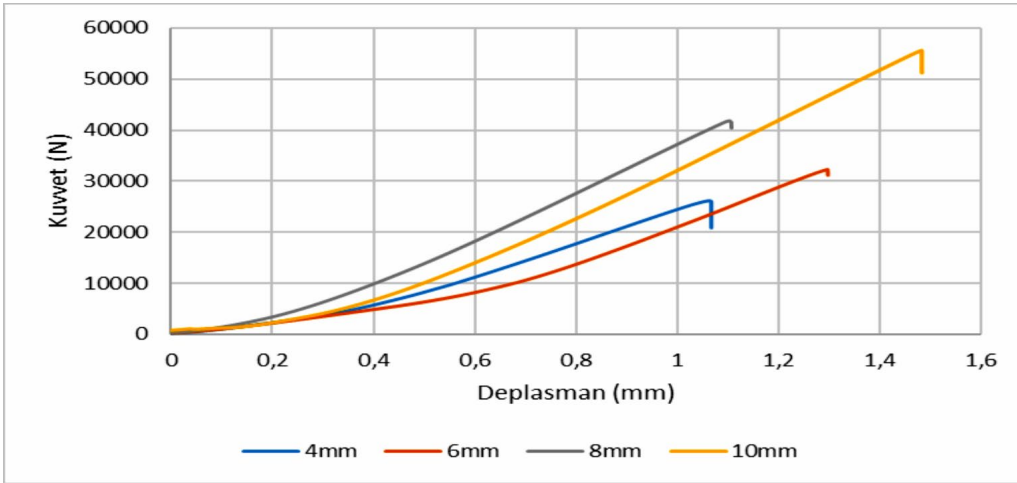
Üretimi yapılan sandviç plakalar dekupaj makinesi ile belirlenen ölçülerde kesilmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan numune boyutları 100x45 mm olarak seçilmiştir. Her bir parametre için 3’er tekrar yapılacak şekilde toplam 72 adet numune üretilmiştir. Kenar basma testleri 0,5 mm/dk yükleme hızında gerçekleştirilmiştir.

3. Araştırma Bulguları

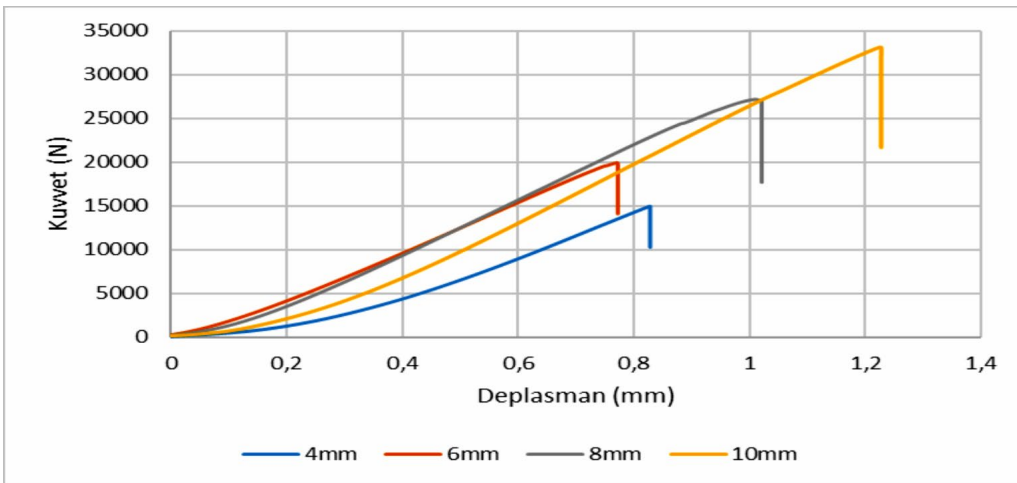
Sandviç yapılar ASTM C364 standardına göre kenar basma testleri uygulanmıştır. Testler sonucunda numunelere ait kuvvet-deplasman verileri elde edilmiştir. Şekil 3 ve Şekil 4’de [0°]₈ ve [0°]₁₂ dizilimli, Şekil 5 ve Şekil 6’da [0/90°]₄ ve [0/90°]₆ dizilimli, Şekil 7 ve Şekil 8’de ise [±45°]₄ ve [±45°]₆ dizilimli sandviç numunelerin kuvvet-deplasman grafikleri verilmiştir. Grafiklerde görüldüğü gibi, dört farklı çekirdek kalınlığının kullanıldığı numunelere ait kuvvet-deplasman eğrileri birlikte verilmiştir.



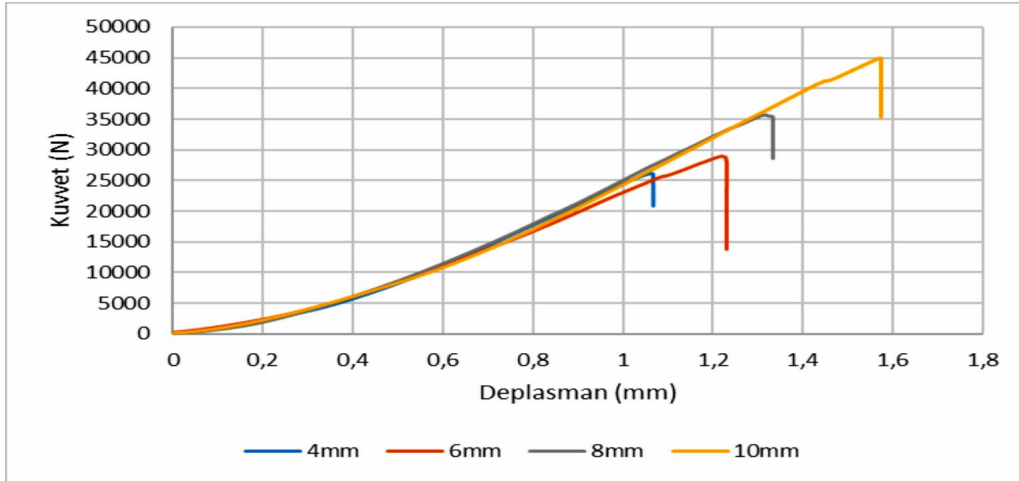
Şekil 3. $[0^\circ]_8$ yüzey oryantasyonlu numunelerin Kuvvet-Deplasman grafikleri.



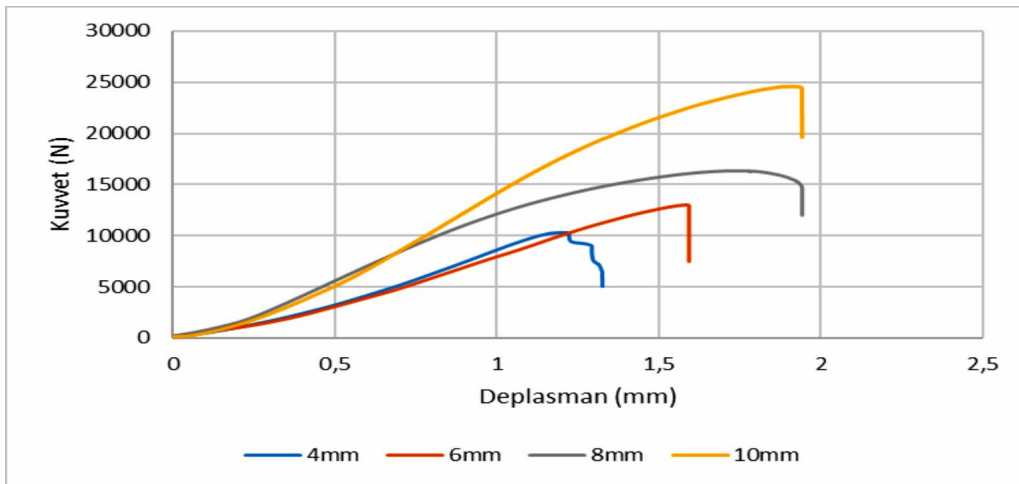
Şekil 4. $[0^\circ]_{12}$ yüzey oryantasyonlu numunelerin Kuvvet-Deplasman grafikleri.



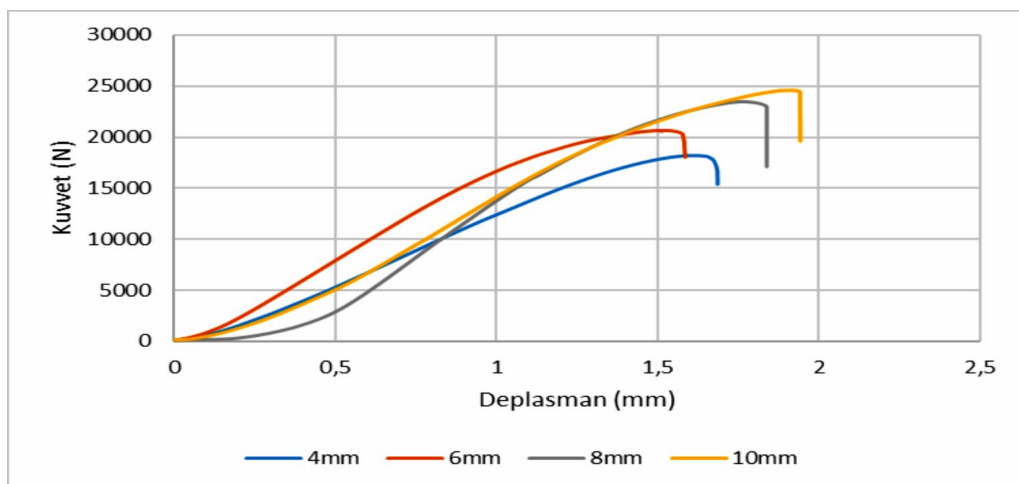
Şekil 5. $[0/90^\circ]_4$ yüzey oryantasyonlu numunelerin Kuvvet-Deplasman grafikleri.



Şekil 6. [0/90°]₆ yüzey oryantasyonlu numunelerin Kuvvet-Deplasman grafikleri.



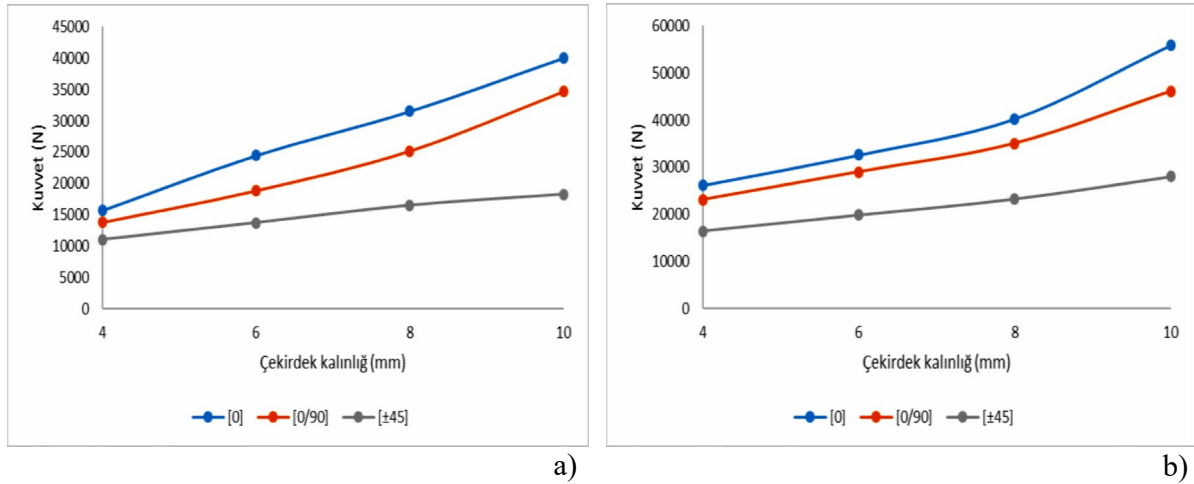
Şekil 7. [±45°]₄ yüzey oryantasyonlu numunelerin Kuvvet-Deplasman grafikleri.



Şekil 8. [±45°]₆ yüzey oryantasyonlu numunelerin Kuvvet-Deplasman grafikleri.

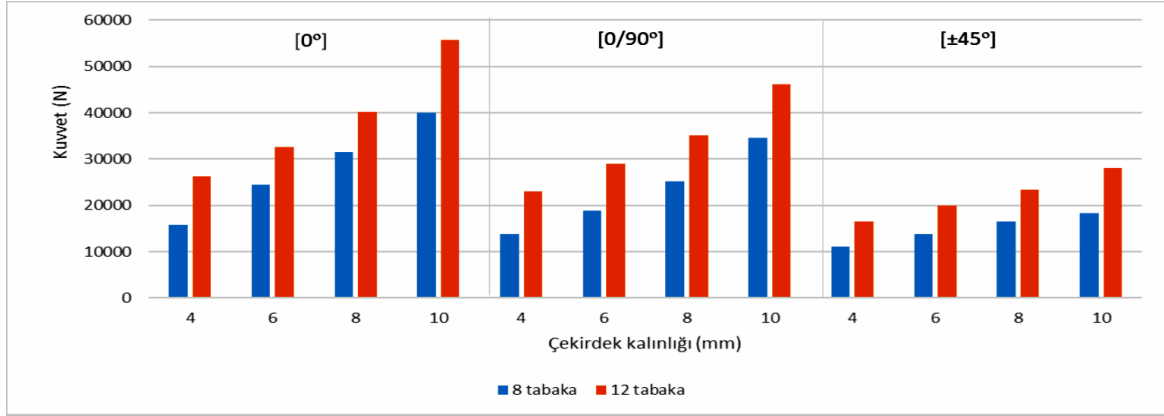
En yüksek kuvvet değeri 10 mm balsa odununun kullanıldığı 12 tabakalı 0° dizilimli numunelerde 56875,82 N ve en düşük kuvvet değeri ise 4 mm balsa odununun kullanıldığı 8 tabakalı $\pm 45^\circ$ fiber dizilimli numunelerde 10298,13 N olarak belirlenmiştir. Yukarıda verilen kuvvet-deplasman grafiklerine göre, her 3 oryantasyon dilimi ve her 2 tabaka sayısında da çekirdek kalınlığı artışı ile birlikte hasar yükü değerinin artış gösterdiği belirlenmiştir. $[0^\circ]_{2s}$ ve $[0/90^\circ]_s$ oryantasyon dizilimli numunelerde kuvvet değeri maksimum değerine ulaştıktan sonra ani bir düşüş görülürken, $[\pm 45^\circ]_s$ oryantasyon dizilimli numunelerde ise kuvvet değeri maksimum hasar yüküne ulaştıktan sonra sandviç yapının bir süre daha yük taşıdığı belirlenmiştir. Yapılan kenar basma testine göre, yükün kompozit ve balsa tarafından birlikte taşındığı göz önüne alındığında kompozit oryantasyon diziliminin maksimum kuvvet ve deplasman değerleri üzerinde doğrudan etkili bir parametre olduğu anlaşılmaktadır.

Yukarıda verilen grafiklere ait deplasman değerleri incelendiğinde, çekirdek kalınlığı artışının deplasman değerleri üzerinde etkin bir parametre olmadığı görülmektedir. Kompozit oryantasyon açısı değişiminin deplasman değeri üzerindeki etkisi incelendiğinde, en yüksek deplasman değeri 10 mm balsa odununun kullanıldığı 12 tabakalı $\pm 45^\circ$ fiber dizilimli numunelerde 2,003 mm olarak ölçülmüştür. $[\pm 45^\circ]_4$ ve $[\pm 45^\circ]_6$ oryantasyon dizilimli sandviç numunelerde dört balsa kalınlığında deplasman değerleri sırasıyla ortalama 1,563 mm ve 1,719 mm olarak belirlenmiştir. 8 ve 12 tabakalı $[0^\circ]_{2s}$ fiber dizilimli sandviç numunelerde bu değer sırasıyla ortalama 1,184 mm ve 1,231 mm iken $[0/90^\circ]_s$ dizilimli numunelerde ise sırasıyla 1,231 mm ve 1,441 mm olarak ölçülmüştür. Verilen değerler incelendiğinde, $[0^\circ]_{2s}$ ve $[0/90^\circ]_s$ dizilimli sandviç kompozitlerin deplasman değerleri birbirine yakın olmakla birlikte $[\pm 45^\circ]_s$ kodlu numunelerden daha düşük olduğu belirlenmiştir.



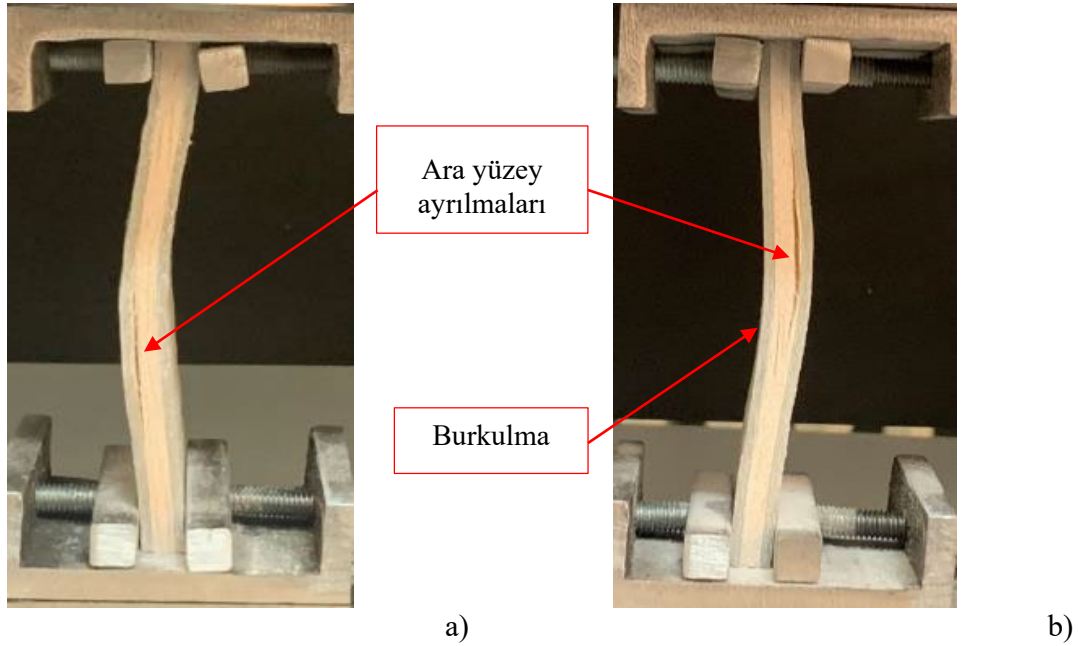
Şekil 9. Basma yükü altında sandviç yapıların çekirdek kalınlığı-kuvvet değişimi a) 8 tabaka, b) 12 tabaka.

Şekil 9'da çekirdek kalınlığı artışı ve fiber diziliminin maksimum kuvvet değeri üzerindeki etkilerini gösteren grafikler verilmiştir. Her iki tabaka sayısında da görüldüğü gibi çekirdek kalınlığı artışına bağlı olarak yapının yük taşıma kapasitesi artmaktadır. Bununla birlikte en yüksek kuvvet değerleri $[0^\circ]_{2s}$, en düşük kuvvet değerleri ise $[\pm 45^\circ]_s$ oryantasyon dizilimli sandviç numunelerde belirlenmiştir. Fiber takviyeli kompozit malzemelerde çeki ve bası yükleri altında fiber diziliminin yükleme doğrultusunda seçilmesi durumunda yapıdan daha yüksek mukavemet değerleri elde edilmektedir. Bu durum göz önüne alındığında en yüksek yük taşıma kapasitesinin $[0^\circ]_{2s}$ fiber dizilimli numunelerde gözlenmesi beklenen bir durumdur. 8 tabakalı numunelerde en yüksek kuvvet değeri 10 mm balsa odununun kullanıldığı 0° dizilimli numunelerde 42168,83 N dur. Aynı çekirdek kalınlığında $[0/90^\circ]_4$ ve $[\pm 45^\circ]_4$ fiber dizilimli kompozitlerin kullanıldığı numunelerde ise en yüksek kuvvet değerleri sırasıyla 36382,45 N ve 18588,40 N dur. 12 tabakalı ve 10 mm balsa odunlarının kullanıldığı $[0^\circ]_{12}$, $[0/90^\circ]_6$ ve $[\pm 45^\circ]_6$ fiber dizilimli sandviç kompozitlerde ise en yüksek kuvvet değeri sırasıyla 56875,82 N, 48430,71 N ve 28964,46 N olarak belirlenmiştir.

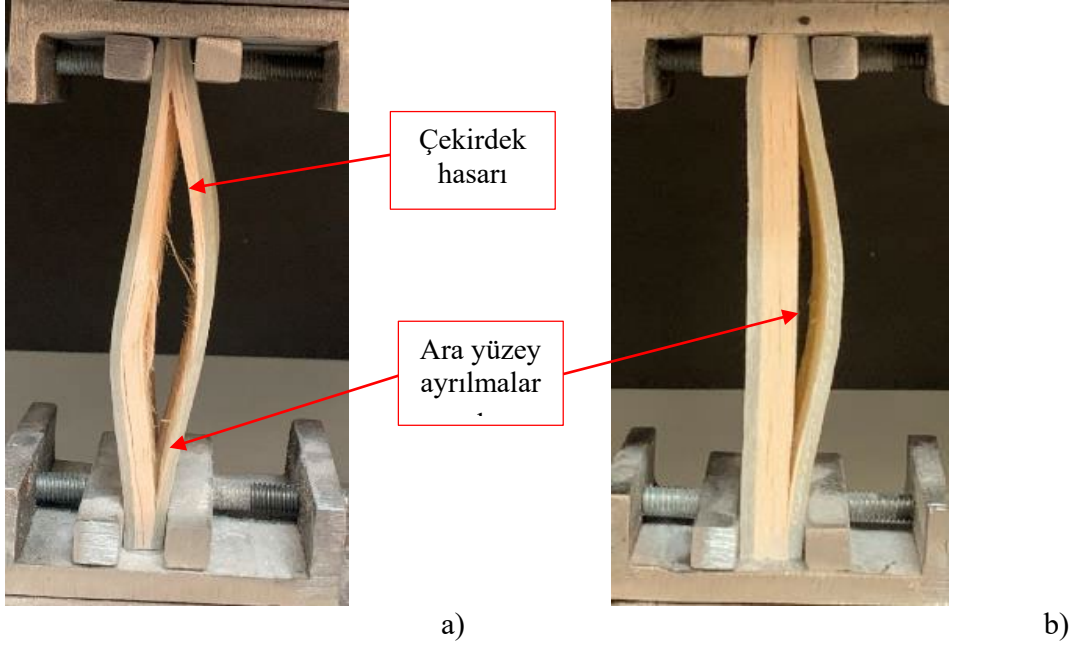


Şekil 10. Sandviç yapılarda basma testi sonucu tabaka sayısı değişimine göre Kuvvet-Çekirdek kalınlığı grafiği.

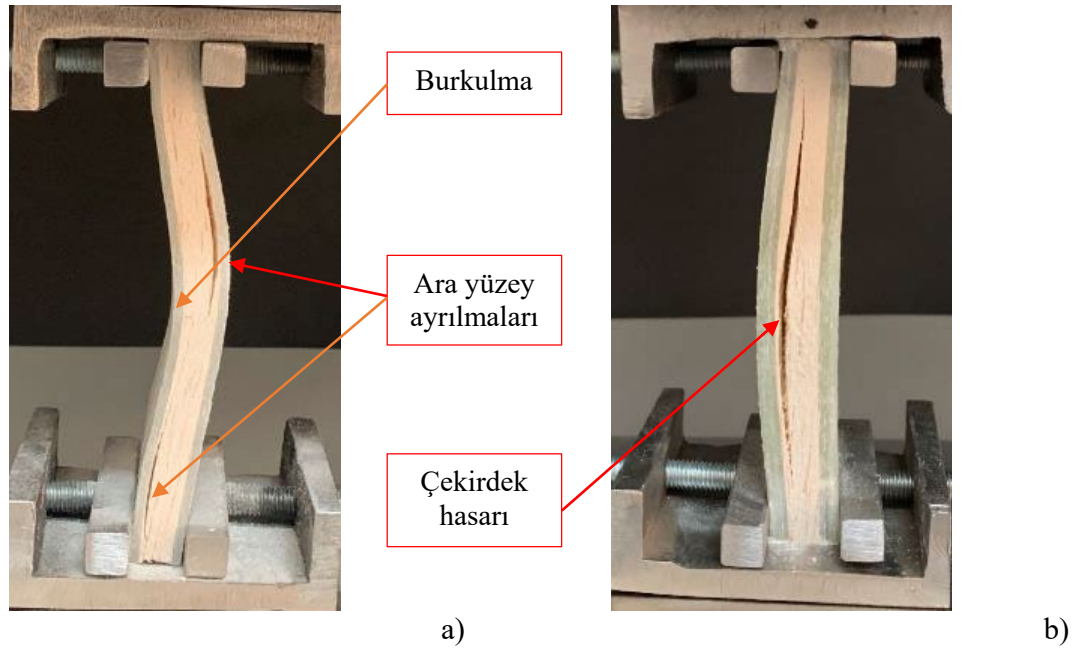
Şekil 10'da tabaka sayısı artışının maksimum kuvvet değerleri üzerindeki etkileri görülmektedir. Her üç fiber diziliminde ve tüm balsa kalınlığında da sandviç yapının alt ve üst yüzeylerindeki kompozit malzemelerin tabaka sayısı artışına bağlı olarak yapının yük taşıma kapasitesi artmaktadır. En büyük artış 4 mm balsa odununun kullanıldığı $[0^\circ]_{2s}$ ve $[0/90^\circ]_s$ fiber dizimli sandviç kompozitlerde ortalama %66,41 ve %67,1 olarak belirlenmiştir. $[\pm 45^\circ]_s$ fiber dizimli sandviç numunelerde ise dört balsa kalınlığında tabaka sayısı artışına bağlı olarak ortalama %46,99'lük bir artış görülmüştür.



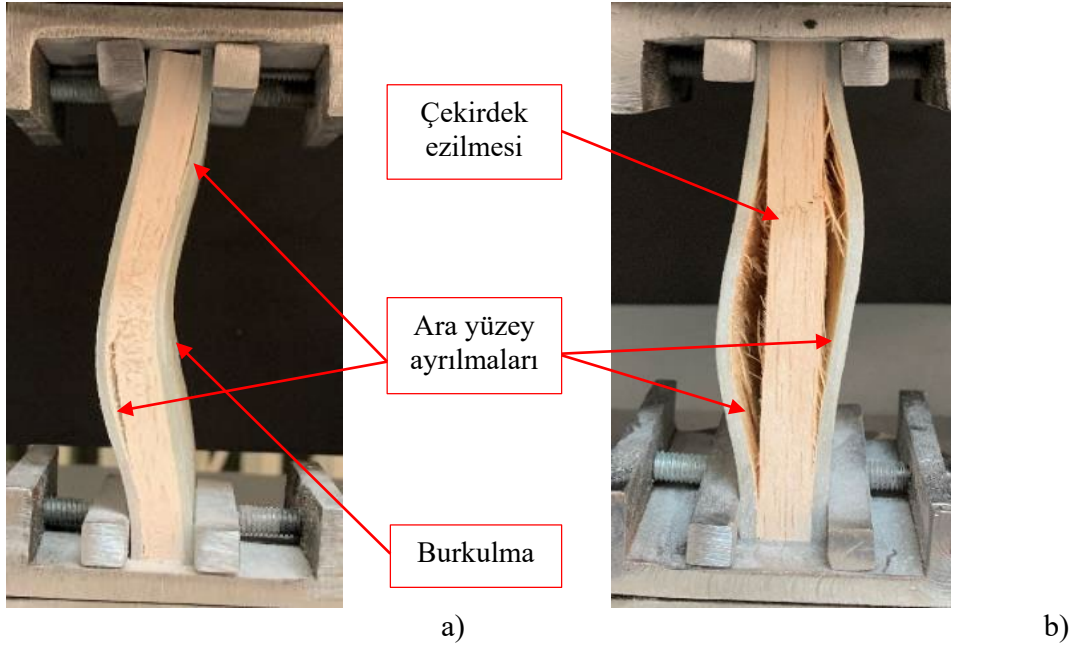
Şekil 11. Basma testi sonucu 4 mm balsa odunu kullanılan numunelerde meydana gelen hasar görüntüleri a) $[0/90^\circ]_4$ b) $[\pm 45^\circ]_4$



Şekil 12. Basma testi sonucu 6 mm balsa odunu kullanılan numunelerde meydana gelen hasar görüntüleri a) $[\pm 45^\circ]_4$ b) $[\pm 45^\circ]_6$



Şekil 13. Basma testi sonucu 8 mm balsa odunu kullanılan numunelerde meydana gelen hasar görüntüleri a) $[\pm 45^\circ]_4$ b) $[0^\circ]_{12}$



Şekil 14. Basma testi sonucu 10 mm balsa odunu kullanılan numunelerde meydana gelen hasar görüntüleri a) $[\pm 45^\circ]_4$ b) $[0^\circ]_{12}$

Şekil 11, Şekil 12, Şekil 13 ve Şekil 14'de kenar basma testi sonucu sandviç numunelerde gözlenen hasar görüntüleri verilmiştir. Şekil 11'de 4 mm balsa odununun kullanıldığı numunelere ait hasar görüntüleri incelendiğinde, 8 tabakalı numunelerde balsa ile kompozit ara yüzeyinde ayrılmalar ve sandviç yapıda burkulma görülmektedir. Bununla birlikte 4 mm balsa odununun kullanıldığı sandviç numunelerin çekirdek elemanlarında genel olarak hasar gözlenmemiştir. Verilen şekillerde görüldüğü gibi çekirdek kalınlığı artışı ile balsa yapıda meydana gelen hasar miktarları artmaktadır. Şekil 12. a'da 6 mm balsa odunu kullanılan $[\pm 45^\circ]_4$ fiber dizimli numunelerin genel hasar tipi ara yüzey ayrılmaları ve çekirdek hasarı olarak belirlenirken, aynı çekirdek kalınlığı ve fiber dizilime sahip 12 tabakalı sandviç numunelerde sadece ara yüzey ayrılmaları görülmektedir (Şekil 12.b). 10 mm balsa odunu kullanılan sandviç numune örneklerinde burkulma, ara yüzey ayrılmaları ve çekirdek hasarına ek olarak çekirdek yapıda ezilmeler görülmektedir. Yukarıda verilen hasar görüntüleri incelendiğinde, sandviç yapılarda kenar basma testi sonucu meydana gelen hasar tiplerinin genel olarak ara yüzey ayrılmaları, burkulma ve çekirdek hasarı olduğu görülmüştür.

4. Sonuçlar

Yapılan kenar basma testleri sonucunda, sandviç kompozitlerin çekirdek kalınlığı, dış yüzey tabaka sayısı artışı ve oryantasyon dizilimi değişiminin maksimum hasar yükü değerleri ve hasar şekilleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Aşağıda basma testleri sonucu elde edilen bulgular maddeler halinde verilmiştir.

- En yüksek yük taşıma kapasitesi 10 mm balsa odunu kullanılan $[0^\circ]_{12}$ fiber dizimli numunelerde 56875,82 N ve en düşük yük taşıma kapasitesi ise 4 mm balsa odunu kullanılan $[\pm 45^\circ]_4$ fiber dizimli numunelerde 10298,13 N olarak belirlenmiştir.
- Üç farklı oryantasyon dilimlerinde çekirdek kalınlığı artışına bağlı olarak sandviç kompozitlere ait hasar yükü değerinin arttığı belirlenmiştir. Ayrıca her iki tabaka sayısında da en yüksek yük taşıma kapasitesi $[0^\circ]_{2s}$, en düşük yük taşıma kapasitesi ise $[\pm 45^\circ]_s$ fiber dizimli numunelerde belirlenmiştir. Fiber diziliminin yükleme doğrultusunda seçilmesinin yapı dayanımını arttırdığı göz önüne alındığında bu durum literatüre benzer şekilde beklenen bir sonuç ortaya koymaktadır.

- Dış yüzey tabaka sayısı artışına bağlı olarak numunelerin yük taşıma kapasitesi artmaktadır. En büyük artış 4 mm balsa odununun kullanıldığı $[0^\circ]_{2s}$ ve $[0/90^\circ]_s$ fiber dizimli numunelerde sırasıyla ortalama %66,41 ve %67,1 olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte $[\pm 45^\circ]_s$ fiber dizimli sandviç numunelerde dört çekirdek kalınlığında tabaka sayısı artışına bağlı olarak ortalama %46,99'luk artış gözlenmiştir.
- Kenar basma yüklemesi durumunda sandviç yapıda çekirdek ve dış yüzey elemanların yükü birlikte taşıdığı göz önüne alındığında, çekirdek kalınlığı, dış yüzey tabaka sayısı ve oryantasyon diziliminin sonuçlar üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Dış yüzey tabaka sayısı ve oryantasyon diziliminin sonuçlar üzerinde literatüre benzer sonuçlar ortaya koyduğu görülürken, çekirdek kalınlığı artışının literatürden farklı sonuçlar ortaya koyduğu görülmektedir. Bu durumun diğer çalışmalardan farklı olarak, düşük kalınlıklı çekirdek elemanların kullanılması ve balsa odununun lifli bir yapıya sahip olmasından dolayı kaynaklandığı düşünülmektedir.
- Sandviç numunelerde meydana gelen en belirgin hasar şekilleri sırasıyla ara yüzey ayrılması, burkulma ve çekirdek hasarıdır.

Teşekkürler

Bu çalışma İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Merkezi tarafından FDK-2018-1249 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Griškevičius P, Zeleniakiene D, Leišis V, Ostrowski M. Experimental and numerical study of impact energy absorption of safety important honeycomb core sandwich structures experimental and numerical study of impact energy absorption of safety important honeycomb core sandwich structures. *Materials Science* 2010; 16(2):119–123.
- [2] Arıkan V. Sandviç Kompozitlerin Onarım Parametrelerinin İncelenmesi. Doktora Tezi. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi; 2019.
- [3] Zurnacı E. Farklı Çekirdek Konfigürasyonuna Sahip Sandviç Yapıların Tasarımı, Üretimi Ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. Karabük: Karabük Üniversitesi; 2019.
- [4] Osei-Antwi M, Castro JD, Vassilopoulos AP, Keller T. Shear mechanical characterization of balsa wood as core material of composite sandwich panels. *Construction and Building Materials* 2013; 41:231–238.
- [5] Borrega M, Gibson LJ. Mechanics of balsa (*Ochroma pyramidale*) wood. *Mechanics of Materials* 2015; 84:75–90.
- [6] Shishkina O, Lomov SV, Verpoest I, Gorbatikh L. Structure–property relations for balsa wood as a function of density: modelling approach. *Archive of Applied Mechanics* 2014; 84:789–805.
- [7] Vadakke V, Carlsson LA. Experimental Investigation of Compression Failure Mechanisms of Composite Faced Foam Core Sandwich Specimens. *Journal of Sandwich Structures and Materials* 2004; 6(4):1-16.
- [8] Silva AD, Kyriakides S. Compressive response and failure of balsa wood. *International Journal of Solids and Structures* 2007; 44:8685–8717.
- [9] Tagarielli VL, Deshpande VS, Fleck NA. The dynamic response of composite sandwich beams to transverse impact. *International Journal of Solids and Structure* 2007; 44: 2442–2457.
- [10] Karaduman Y, Önal L. Flexural behavior of commingled jute/polypropylene nonwoven fabric reinforced sandwich composites. *Composites Part B* 2016; 93:12-25.
- [11] Aslan M, Güler O, Alver Ü. Farklı yüzey ve çekirdek malzemelerine sahip sandviç panel kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2018; 6(24):1062-1068.

- [12] Solmaz MY, Çelik E. 3 Boyutlu Yazıcı Kullanılarak Üretilen Bal Peteği Sandviç Kompozitlerin Basma Yükü Altındaki Performanslarının Araştırılması. Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi 2018; 30(1):277-286.
- [13] Kıyak B, Kaman MO. Karbon Fiber Kompozit Sandviç Levhaların Yanal Mukavemet Davranışlarının Araştırılması. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi 2018; 18(1):684-691.
- [14] Susainathan J, Eyma F, Luycker ED, Cantarel A. Experimental investigation of compression and compression after impact of wood-based sandwich structures. Composite Structures 2019; 220(1):236-249.
- [15] Osmanoğlu S, Selver E, İmal M. Sandviç kompozitlerde Çekirdek Kalınlığının Ve Karbon Lif Yönlenmelerinin Basma ve Eğilme Dayanımlarına Etkisi. Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi 2020; 8(2):223-236.
- [16] Najafi M, Eslami-Farsani R. Design and characterization of a multilayered hybrid cored-sandwich panel stiffened by thin-walled lattice structure. Thin-Walled Structures 2021; 161:107514.
- [17] Cui Y, Hao H, Li J, Chen W. Failure mechanism of geopolymer composite lightweight sandwich panel under flexural and edgewise compressive loads. Construction and Building Materials 2021; 270:121496.
- [18] Ashraf W, Ishak MR, Zuhri MYM, Yidris N, Ya'acob AM. Experimental Investigation on the Mechanical Properties of a Sandwich Structure Made of Flax/Glass Hybrid Composite Facesheet and Honeycomb Core. International Journal of Polymer Science 2021.
- [19] Yang Y, Fahmy MF, Pan Z, Zhan Y, Wang R, Wang B, Feng B. Experimental study on basic mechanical properties of new BFRP-bamboo sandwich structure. Construction and Building Materials 2020; 264:120642.
- [20] Standard Test Method for Edgewise Compressive Strength of Sandwich Constructions. American Society for Testing and Materials ASTM, C364 / C364M-16: 2016.
- [21] Hsiao KT, Heider D. Vacuum assisted resin transfer molding (VARTM) in polymer matrix composites. Manufacturing techniques for polymer matrix composites (PMCs) 2012; 310-347.

TIBBİ GÖRÜNTÜLERİN GÜVENLİĞİ İÇİN İLGI OLMAYAN BÖLGELERDE KENAR TABANLI DAMGALAMA

Rukiye KARAKIŞ^{1*}, Kali GÜRKAHRAMAN²

¹Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Sivas, 58140, Türkiye

²Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Sivas, 58140, Türkiye

Geliş tarihi: 18.04.2021 Kabul tarihi: 17.06.2021

ÖZET

Son yıllarda, hastaların kişisel kayıtlarının güvenliği, tıbbi görüntülerde damgalama teknikleri kullanılarak sağlanmaktadır. Damgalama işleminin tanı ve tedaviyi etkilememesi için gizleme işlemi görüntülerdeki ilgi olmayan bölgelerde gerçekleştirilmelidir. Bu çalışmada, tıbbi görüntülerin dosya başlık kısmında yer alan hasta kişisel bilgileri ve radyoloji raporlarından oluşan gizli mesajı saldırılara karşı koruyan kör olmayan kenar tabanlı damgalama sistemi önerilmektedir. AES-256 ile şifrelenen gizli mesaj, taşıyıcı görüntülerin histogram istatistiği yöntemiyle tespit edilen ilgi olmayan bölgelerdeki piksellere yerleştirilerek görüntüye dönüştürülmüştür. Mesaj ve taşıyıcı görüntülerin Ayrık Dalgacık Dönüşümü ve Tekil Değer Ayrışımıyla bulunan tekil değerleri birleştirilerek damgalama gerçekleştirilmiştir. Çalışmada 402944 bit veri gizlenmesi sonrasında sinyalin tepe değerinin görüntüye oranı 68,33 dB olarak bulunmuştur. Medikal görüntü güvenliği için önerilen ilgi olmayan bölgelerde kenar tabanlı damgalama tekniği yüksek kapasiteli, farkedilmez ve saldırılara karşı dayanıklıdır.

***Anahtar Kelimeler:** Tıbbi Görüntü Damgalama, İlgi Olmayan Bölge Belirleme, Kenar Belirleme, Tekil Değer Ayrışımı, Ayrık Dalgacık Dönüşümü*

EDGE-BASED WATERMARKING IN NONE REGION OF INTERESTS FOR THE SECURITY OF MEDICAL IMAGES

ABSTRACT

In recent years, the security of patients' personal records is ensured by watermarking techniques using medical images. Data hiding should be performed in the region of non-interest of the medical images so that the watermarking does not affect the diagnosis and treatment. This study proposes an edge-based non-blind watermarking system that protects the secret message consisting of patient personal information in the file header of medical images and radiology reports against attacks. The secret message encrypted with AES-256 was transformed into an image by embedding the message in the region of non-interest pixels of cover images detected using the histogram statistics method. The watermarking was performed by combining the singular values of the message and carrier images which were determined by Discrete Wavelet Transform and Singular Value Decomposition. In the study, after 402944-bit data hiding, the peak signal-to-noise ratio was found as 68.33 dB. The proposed edge-based watermarking technique in region of non-interest for medical image security has high capacity, imperceptibility, and robustness to attacks.

***Keywords:** Medical Image Watermarking, Region of None Interest Detection, Edge Detection, Singular Value Decomposition, Discrete Wavelet Transform.*

* e-posta¹: rkarakis@cumhuriyet.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1797-3461> (Sorumlu Yazar)

e-posta²: kgurkahraman@cumhuriyet.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0697-125X>

1. Giriş

Tanı ve tedavide sıkça kullanılan radyolojik görüntüler, hastane bilgi sistemlerinin kayıt alanlarında en fazla yer kaplayan verilerdir. Radyolojik görüntülerin tutulduğu dosya formatı olan Tıpta Sayısal Görüntüleme ve İletişim (Digital Imaging and Communications in Medicine: DICOM) standardı başlık kısmında hastaya ait ad, soyad, kimlik numarası, adres gibi bazı kişisel bilgiler içerir. Bu verilere ulaşmak için herhangi bir DICOM görüntüleyici kullanmak yeterlidir. Şifreleme ya da veri gizleme teknikleri, yerel ve açık ağ üzerinden paylaşılan ve incelenen bu görüntülerin güvenliğinin sağlanmasında kullanılır. Şifreleme verilerin içeriğinin korunması ile veri gizleme ise verinin varlığının gizlenmesi ile ilgilenmektedir [1-2].

Damgalama, veri gizleme biliminin bir alt araştırma alanıdır ve gizlenen verilerin saldırılara karşı daha dayanıklı olmasını sağlayan yöntemler önermektedir. Damgalama ile gizlenen veriler üçüncü parti saldırılar sonrası geri elde edilebilmektedir. Son yıllarda radyolojik görüntülerin güvenliğinin sağlanmasında da farklı damgalama tekniklerinden yararlanılmaktadır. Buradaki tekniklerin güvenlik senaryosu, açık ağlarda paylaşılan ya da hastalara CD/DVD ile verilen DICOM uzantılı görüntüleri ele geçiren üçüncü parti kişilerin hasta kişisel bilgilerine kolayca ulaşmasını engellemektir. Ayrıca, bu verilerin güvenliği, damgalama ile simetrik, asimetrik ya da özet (hash) şifrelemenin birarada kullanılmasıyla artırılabilir [1-8]. Literatürde tıbbi görüntülerdeki kişisel bilgileri korumak için uzamsal ya da dönüşüm düzleminde gerçekleştirilen farklı veri gizleme uygulamaları mevcuttur. Bu yöntemler, en az ağırlıklı bit (LSB: Least Significant Bit) tabanlı, geri döndürülebilir ya da ilgi olmayan bölgelerde (RONI: Region of None Interest) gerçekleştirilen teknikler olarak gruplandırılır [2-4, 6-19]. LSB yaklaşımlarında, sıralı ya da rassal belirlenen piksellerin ya da dönüşüm katsayılarının LSB'lerine gizli mesajın bitleri yerleştirilir. Geri döndürülebilir yöntemlerde, damga görüntülerden gömülen mesaj çıkarıldıktan sonra orjinal görüntü de elde edilmektedir. RONI veri gizlemede ise görüntülerin tanı ve tedavisiyle ilintili bölgeleri dışında kalan alanlara mesaj gömülmektedir. Veri gizleme uzamsal düzlemde gerçekleştirildiğinde, bu teknikler kırpma, döndürme, yeniden boyutlandırma, görüntü ekleme ve filtreleme gibi saldırılara karşı dayanıksızdır. Bu sebeple, araştırmacılar dönüşüm uzayında gizleme işlemlerini gerçekleştiren çalışmalara odaklanmaktadır [2-4, 6-19].

Joshi ve arkadaşı [13] yaptıkları çalışmada, Arnold Dönüşümü kullanarak hastane logosu ve kişisel bilgileri şifrelemiştir ve ardından ikinci seviye ayrık dalgacık dönüşümü (ADD) ile gizlemiştir. Çalışmada orjinal ve damga görüntüler arasından ölçülen sinyalin tepe değerinin gürültüye oranı (PSNR: Peak signal-to-noise ratio) 53,37 ile 56,76 dB aralığında bulunmuştur. Mavudila ve arkadaşları şifreledikleri logoları çok bantlı karmaşık dalgacık dönüşümü (KDD) ile gizlemişlerdir. Çalışmada önerilen dönüşüm tabanlı veri gizleme tekniğinin PSNR değerleri 40,2 dB ile 42,0 dB aralığındadır [14]. Giakoumaki ve arkadaşları tıbbi görüntülerin ayrık kosinüs dönüşümü (AKD) katsayılarında hasta kişisel bilgilerini ve doktor yorumlarını gizlemişlerdir [15]. 2000 bayt (16 kilobit) veri için PSNR değerleri 52,78-63,24 dB olarak elde edilmiştir. Diğer bir çalışmada, X-ray görüntülerinin AKD katsayılarında en fazla 2048 bayt mesaj gizlenmiştir [16]. Giakoumaki ve arkadaşları 20 farklı görüntüde 4. seviye ADD ile veri gizlemişlerdir. Ortalama PSNR değerleri, yaklaşık 5348 bit veri için 45,96 ile 46,66 dB aralığında elde edilmiştir [17]. Nambakhsh ve arkadaşları önerdikleri dalgacık tabanlı algoritma ile Elektrokardiyogram (EKG) sinyallerini ve hasta kişisel bilgilerini 256x256 çözünürlüklü PET görüntülerinde gizlemişlerdir. PSNR değerleri 2 kilo bayt mesaj için 48,15 dB şeklindedir [18]. Yaptıkları diğer bir çalışmada ise Manyetik Rezonans (MR) ve Bilgiyararlı Tomografi (BT) görüntülerine EKG verilerini sıfır ağaç dalgacık dönüşümü (SDD) katsayılarına gizlemişlerdir. 512 ve 8192 bayt veri için PSNR değerleri sırasıyla 43,47 ve 39,29 dB olarak bulunmuştur [19]. Acharya ve arkadaşları veriyi tıbbi görüntülerin AKD katsayılarının LSB'lerine gizlemişlerdir. Bu çalışmada, katsayıların kodlanmasında Huffman ve RLE sıkıştırma teknikleri kullanılmıştır. Taşıyıcı ve damga görüntüler arasındaki fark, normalize ortalama kare hatasının kökü (NRMSE: Normalized Root Mean Square Error) kullanılarak ölçülmüştür. MR, BT ve anjiyogram görüntüleri için NRMSE değerleri 0,81

ile 1,01 arasında bulunmuştur. Ancak, taşıyıcı ve gömülü görüntülerin histogramlarında farkedilebilir değişim oluşmuştur [20].

Literatürde bu çalışmanın konusuyla alakalı, veriyi ilgi veya ilgi olmayan bölgelerde gizleyen dönüşüm tabanlı yaklaşımlar da mevcuttur. Üstübioğlu ve ark. [21] tıbbi görüntülerin güvenliği için dönüşüm düzleminde ADD ve Hızlı Walsh-Hadamard Dönüşümlerini (HWHD) kullanan bir damgalama sistemi tasarlamıştır. 512x512 boyutlu görüntülerin ilgi bölgelerinin (ROI: Region of Interest) alt bloklarında 120x120 boyutlu logo ve blok bilgileri gizlenmiştir. Ayrıca damgalama için oluşturulan özet, RONI'lerin LSB'lerinde gizlenmiştir. Çalışmada ortalama PSNR değerleri 48,56 ile 48,69 dB aralığındadır ve geliştirilen yöntemin saldırılara karşı dayanıklılık değerleri yüksektir. Ancak, ilgi ve ilgi olmayan bölge tespitinin nasıl yapıldığı belirsizdir.

Bamal ve ark. [22] tıbbi görüntü güvenliğini, tekil değer ayrıştırma (TDA), Hızlı Walsh Dönüşümü (HWD) ve Stantlet Dönüşümü (SLT) kullanarak sağlamıştır. ROI tespiti Yapay Sinir Ağları (YSA) ile gerçekleştirilmiştir. İlk damga olan özet, HWD ve TDA kullanılarak görüntülere gizlenmiştir. AES ile şifrelenen ikinci damga (kişisel bilgi, parmak izi ve şifreleme anahtarı) ilk damganın gizlenmesi ile oluşturulan görüntülerin SLT katsayılarında gömülmüştür. Bu katsayılar Yapay Arı Koloni (ABC: Articial Bee Colony) algoritması ile tespit edilen eşik değeri kullanılarak belirlenmiştir. Karmaşık işlemler içeren bu damgalama sisteminde, piksel başına 1.819 bpp (bit pixel) veri gizlenilmiştir ve ortalama PSNR değeri 48,89 dB'dir.

Zermi ve ark. [23] hasta kişisel bilgilerini, görüntüye ait bilgileri ve bunlardan oluşturulan özeti tıbbi görüntülerde ADD ve TDA ile elde edilen ardışık tekil değerlerde gizlemişlerdir. Geliştirilen damgalama sisteminde 2546 bit (318 bayt) veri için 57,41 dB PSNR değeri elde edilmiştir. Önerilen yöntemin dayanıklılığı yüksek ancak mesaj gizleme kapasitesi düşüktür.

Fares ve ark. [24] hasta kişisel bilgilerinin güvenliğini sağlamak için AKD-Schur Dönüşümü ve ADD-Schur Dönüşümü olmak üzere iki damgalama tekniği önermiştir. PSNR değerleri bu iki yöntem için sırasıyla 47,98 ve 49,20 dB olarak bulunmuştur. Ancak yöntemlerin kapasitesi sırasıyla 682 bit (85 bayt) ve 1026 bit (128 bayt)'tır.

Karakiş ve ark. [25] ADD ve TDA ile hasta kişisel bilgilerini tıbbi görüntülerde gizlemiştir. PSNR değerleri 55,18 ile 56,81 dB aralığında bulunmuştur. Ancak bu çalışmada, kapasite analizleri ve steg saldırı analizleri verilmemiştir ve ROI ve RONI tespit edilmemiştir. Diğer bir çalışmalarında [26] MR görüntülerindeki tümör bölgesi, ROI, ADD ve k-ortalama kümeleme kullanılarak tespit edilmiştir. Tümör dışındaki bölgeler RONI olarak atanmış ve buradaki piksellerin LSB'lerine mesaj bitleri yerleştirilmiştir. Çalışmanın PSNR değerleri 61,18 ile 68,93 dB aralığında bulunmuştur. Önerilen yöntemin kapasitesi LSB tabanlı olduğu için yüksektir ancak yöntem saldırılara karşı dayanıklı değildir.

Bu çalışmada, tıbbi görüntülerin dosya başlık kısmında yer alan hasta kişisel bilgileri ve radyoloji raporlarından oluşturulan gizli mesajın, saldırılara karşı korunması amacıyla kör olmayan kenar tabanlı damgalama sistemi önerilmektedir. Çalışmanın literatüre katkıları (1) tıbbi görüntülerin ilgi olmayan kenarlarının histogram istatistiği (HI) tekniği ile tespit edilmesi, (2) Gizli mesajın kenar maskesi aracılığıyla görüntüye dönüştürülmesi, (3) Dönüşüm uzayında ADD ve TDA ile gizleme yapılarak saldırılara karşı dayanıklılığın sağlanması, (4) İlgi olmayan bölgelerde gerçekleştirilen damgalama neticesinde tanı ve tedavinin etkilenmemesi olarak sıralanabilir. Önerilen damgalama sisteminde, taşıyıcı tıbbi görüntülerin HI yöntemi ile kenar maske görüntüsü elde edilmektedir ve AES-256 ile şifrelenen gizli mesaj, bu maske görüntüsünün kenar piksellerine sıralı olarak yerleştirilmektedir. Taşıyıcı ve mesaj görüntüleri üçüncü seviye ADD kullanılarak LL (yaklaşık), LH (yatay), HL (dikey) ve HH (çapraz) alt bantlarına ayrıştırılmaktadır. LL bantlarının TDA ile elde edilen tekil değerleri birleştirilerek damga görüntü oluşturulmaktadır. Çalışmada, taşıyıcı görüntüler ile damga görüntüler arasındaki farklılık, hataların kareleri ortalaması (MSE: Mean Square Error), PSNR, evrensel kalite indeksi (UQI: Universal Quality Index) ve yapısal benzerlik (SSIM: Structural Similarity Measure) değerleri kullanılarak tespit edilmiştir. Ayrıca, kör/referanssız görüntü uzamsal kalite değerlendiricisi (BRISQUE: Blind/Referenceless Image Spatial Quality Evaluator), doğallık görüntü kalitesi değerlendiricisi (NIQE: Naturalness Image Quality Evaluator) ve algıya dayalı görüntü kalitesi

değerlendiricisi (PIQE: Perception based Image Quality Evaluator) gibi referans tabanlı olmayan metrikler ile damgalı görüntülerin kalitesi ortaya konulmuştur. Gizlenen damga ve elde edilen damga arasındaki benzerlik ise normalize korelasyon (NC: Normalized Correlation) ve hatalı bit (BER: Bits of Error) ölçümleri ile tespit edilmiştir.

Bu makalede, Bölüm 2’de materyal ve kullanılan yöntemler anlatılmıştır. Bölüm 3’te deneysel sonuçlar ve tartışma aktarılmıştır. Son bölümde ise sonuç verilmiştir.

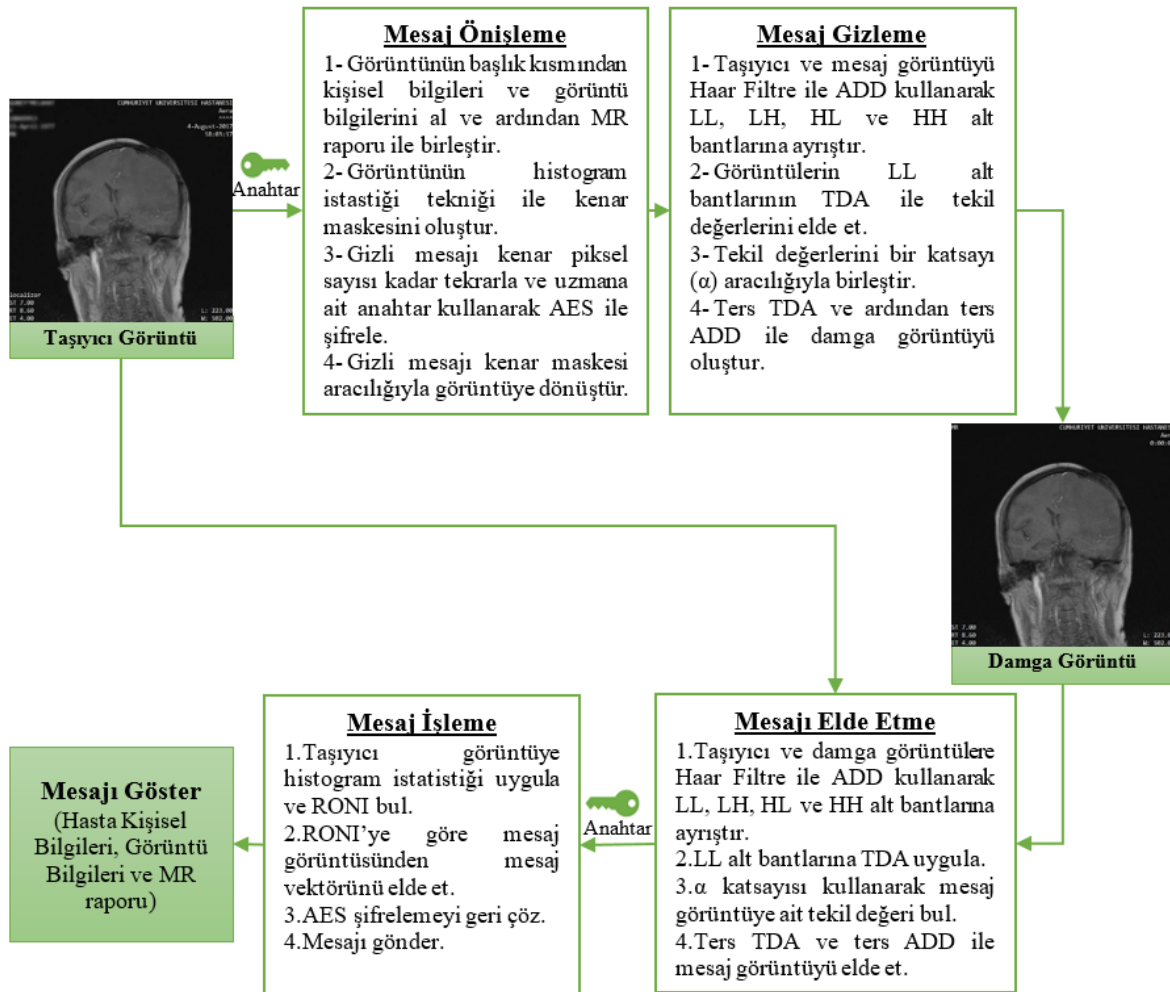
2. Materyal ve Metod

Bu çalışmada, 30 epilepsi hastasına ait 512x512 boyutlu ve 16 bitlik DICOM uzantılı toplam 90 adet beyin MR görüntüsü Cumhuriyet Üniversitesi Tıp Fakültesi Nöroloji ve Radyoloji bölümlerinden (Proje No: Tekno-017) alınmıştır [26]. Gizli mesaj, DICOM görüntüsünün dosya başlık kısmında yer alan hasta kişisel bilgilerini (ad, soyad, kimlik numarası, doğum tarihi, cinsiyet, yaş, ağırlık ve adres), görüntü çekim bilgilerini (tarih, saat, numara, modalite ve açıklama) ve seri bilgilerini (tarih, saat ve açıklama) ve MR görüntülerinin raporlarını içermektedir. Çizelge 1’de kullanılan veri setinin özellikleri ve gizli mesajın kapasite bilgileri verilmiştir. Önerilen mesaj gizleme ve elde edilmesi, verisi ile test edilmesi ve performans analizlerine ait kodlamalar MATLAB platformunda gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 1. Verisi özellikleri ve gizli mesaj kapasiteleri

Hasta Etiketi	MR Başlık Dosyası Bilgileri (Bayt)	MR Rapor (Bayt)	Gizli Mesaj (Bayt)
P1	132	1035	1169
P2	139	1026	1167
P3	134	1740	1876
P4	131	1633	1766
P5	134	1206	1342
P6	136	1576	1714
P7	141	1763	1906
P8	139	1771	1912
P9	137	1153	1292
P10	134	1813	1949
P11	117	1699	1818
P12	135	1154	1291
P13	137	1656	1795
P14	137	1645	1784
P15	135	1012	1149
P16	136	2177	2315
P17	143	1051	1196
P18	134	1354	1490
P19	136	1383	1521
P20	134	1169	1305
P21	136	1082	1220
P22	139	1108	1249
P23	138	1063	1203
P24	135	1364	1501
P25	124	2255	2381
P26	133	1671	1806
P27	137	1576	1715
P28	138	1877	2017
P29	136	1563	1701
P30	144	2501	2647

Şekil 1’de kör olmayan damgalama sisteminin mesaj gizleme ve elde etme aşamaları verilmiştir. Mesaj önışleme aşamasında, öncelikle görüntünün dosya başlık kısmından hasta kişisel bilgileri ve görüntü bilgileri alınır ve MR raporu ile birleştirilir. Taşıyıcı görüntünün HI yöntemi kullanılarak kenar pikselleri belirlenir ve bir maske görüntü oluşturulur. Gizli mesaj, maskede işaretlenen piksel sayısı kadar tekrarlanır ve AES-256 yöntemiyle şifrelenir. Şifreli mesaj maskenin işaretlenen piksellerine sıralı olarak yerleştirilerek mesaj görüntü oluşturulur. Mesaj gizleme aşamasında, taşıyıcı ve mesaj görüntüler öncelikle üçüncü seviye ADD kullanılarak LL, LH, HL ve HH alt bantlarına ayrıştırılır. LL bantlarının TDA kullanılarak tekil değerleri elde edilir ve bir katsayı (α) kullanılarak bu değerler birleştirilir. Ters TDA ve ardından ters ADD ile damga görüntü oluşturulur. Önerilen damgalama sisteminde, hasta kişisel bilgileri taşıyıcı DICOM görüntüsünün başlık kısmından silinir. Kişisel bilgiler ve MR raporları sadece şifreleme işlemini çözecek anahtara sahip uzmanlarca görülebilir hale getirilir.

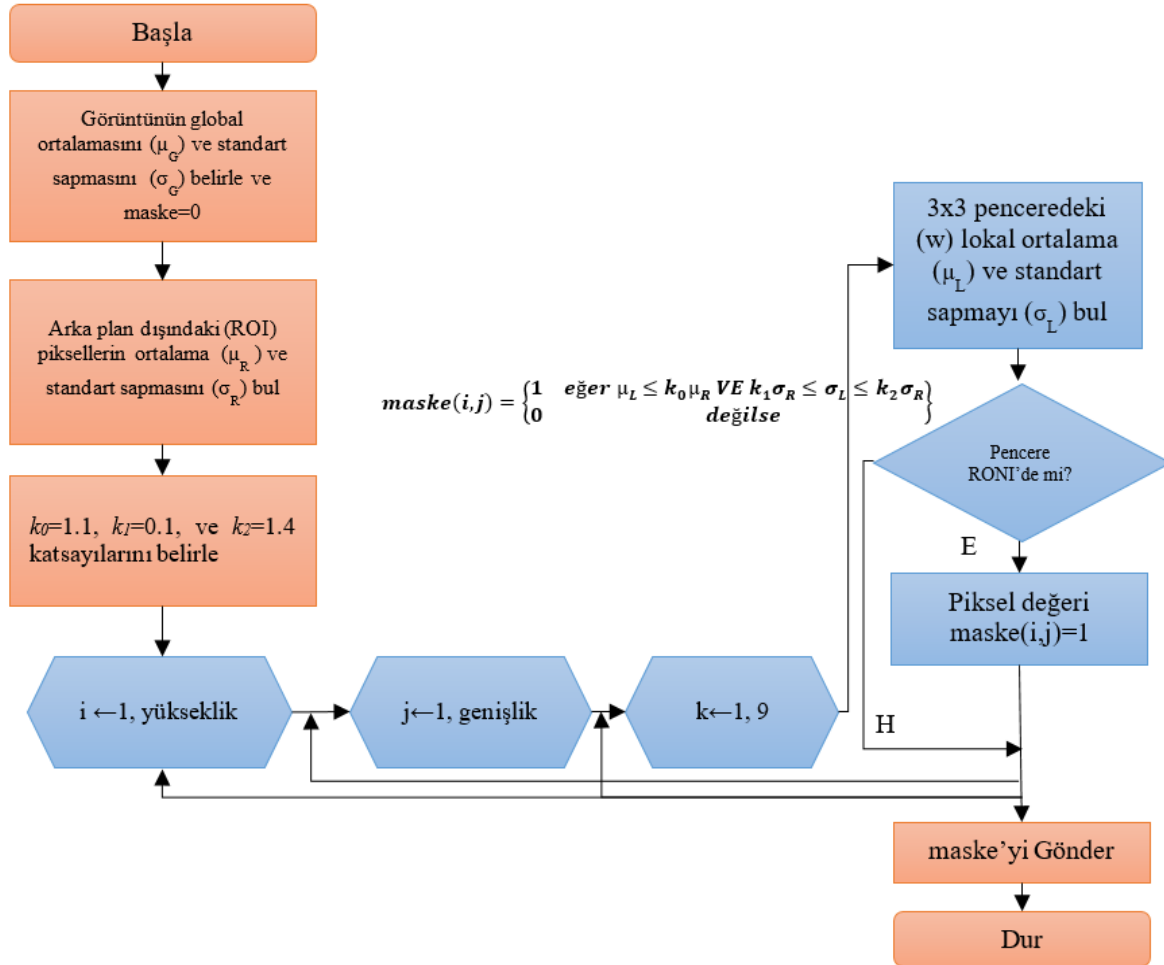


Şekil 1. Önerilen yöntemin mesaj damgalama ve elde etme aşamaları

Veri elde etme aşamasında, öncelikle taşıyıcı ve damga görüntülerinde ADD kullanılarak alt bantları hesaplanır. LL bantlarına TDA uygulanarak tekil değerleri hesaplanır ve gizlemede kullanılan aynı α katsayısı ile mesaj görüntüsünün tekil değerleri elde edilir. Ardından sırasıyla ters TDA ve ters ADD uygulanarak mesaj görüntü bulunur. Taşıyıcı görüntünün HI ile kenarları elde edilir ve bu kenar piksellerine göre mesaj görüntü kıyaslanarak mesaj vektörü oluşturulur. AES-256 şifrelemesi geri çözülerek mesaj elde edilir ve yetkili kişiye gönderilir.

2.1. Histogram İstatistiği Yöntemi ile İlgili Olmayan Bölge Tespiti

HI yöntemi, tıbbi görüntülerde arka plan haricinde kalan ilgi olmayan bölgelerin tespit edilmesi için kullanılmıştır. HI yönteminde, görüntünün global ve lokal ortalama ve standart sapma değerlerinin kıyaslanması ile RONI'ler tespit edilebilir [27]. Şekil 2'de verilen yöntemde öncelikle görüntünün ve arka plan dışındaki (ROI) piksellerin ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanır. Bu değerlere bağlı olarak k_0 , k_1 ve k_2 deneysel olarak belirlenir. 3×3 'lük bir pencere görüntü üzerinde dolaştırılarak, pencerenin her konumu için görüntü parçasının lokal ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanır. Beyin dışında kalan kafatası ve deri gibi bölgeler veri gizlemek amacıyla kullanılacağı için pencere ortalamasının ROI'den yüksek ve kontrastının ise belli bir aralıkta bulunması gerekir. Standart sapma görüntülerde kontrast ölçüsü olarak kullanıldığından RONI bölgesinin değerlendirilmesinde belli aralıktaki standart sapma değerine sahip pencere konumları tespit edilerek işaretlenir.



Şekil 2. Histogram istatistiği yönteminin akış diyagramı

2.2. Ayrık Dalgacık Dönüşümü

İki boyutlu ADD, alçak ve yüksek geçiren çoklu filtrelerin kullanılması ile görüntüye ait zaman ve frekans bilgilerini bir arada veren dönüşüm yöntemidir. ADD'de yüksek geçiren filtreler (H) ile görüntüye ait detay katsayıları, alçak geçiren filtreler (L) ile görüntünün yaklaşık katsayıları elde edilir. Tek seviye ADD dönüşümü kullanılarak LL (yaklaşık), LH (yatay), HL (dikey) ve HH (diagonal) alt bantları elde edilir. LL alt bantı ters ADD ile görüntünün elde edilmesini sağlar. Eşitlik 1 ve 2'de görüntü için ADD tekniğinin formülü verilmiştir [8, 27].

$$W_\varphi(j_0, m, n) = \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \varphi_{j_0, m, n}(x, y) \quad (1)$$

$$W_{\psi}^i(j, m, n) = \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \psi_{j_0, m, n}^i(x, y) \quad (2)$$

Eşitlik 1 ve 2'deki f , $m \times n$ boyutlu bir görüntüyü ve $W_{\psi}(j_0, m, n)$ görüntünün yaklaşık katsayılarını ifade etmektedir. $W_{\psi}^i(j, m, n)$ ise görüntünün yatay, dikey ve diyagonal bilgilerini içeren detay katsayılarıdır [8, 27].

2.3. Tekil Değer Ayrışımı

TDA bir matrisin çarpanlara ayrılmasında kullanılır ve bir görüntüyü üç matrisin çarpımı şeklinde ayrıştırır. Bu matrislerden ikisi ortogonal, biri ise diyagonaldır ve diyagonal matris görüntünün tekil değerlerine sahip diyagonal elemanlar içerir [28]. TDA, A görüntü matrisi için Eşitlik 3'e göre hesaplanır.

$$A_{yxz} = U_{yxy} S_{yxz} (V_{zxz})^T \quad (3)$$

A : yxz matrisi ve S : yxz diyagonal matristir. S diyagonal matrisinin elemanları, A 'nın tekil değerleridir. U ise A 'nın sol tekil vektörlerini içeren yxy matrisidir. V^T : A 'nın sağ tekil vektörlerini içeren zxz matrisidir. U ve V ortonormal matrislerdir ve $UU^T=I$ ve $VV^T=I$ 'dir [28]. Eşitlik 3'ün matris hali Eşitlik 4'teki gibidir.

$$A = [u_1, u_2, \dots, u_y] \begin{bmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ \vdots \\ v_z \end{bmatrix} \quad (4)$$

A 'nın sol tekil değerleri olan u_i ($i=1,2,\dots,y$), U matrisinin sütunlarını ifade eder ve σ_i^2 öz değerleri ile AA^T 'nin öz vektörleridir. A görüntü matrisinin sağ tekil değerleri olan v_i ($i=1,2,\dots,z$), V matrisinin satırlarıdır ve σ_i^2 öz değerleri ile $A^T A$ 'nın öz vektörleridir. σ_i ($i=1,2,\dots,z$) ise A matrisinin tekil değerleridir [28].

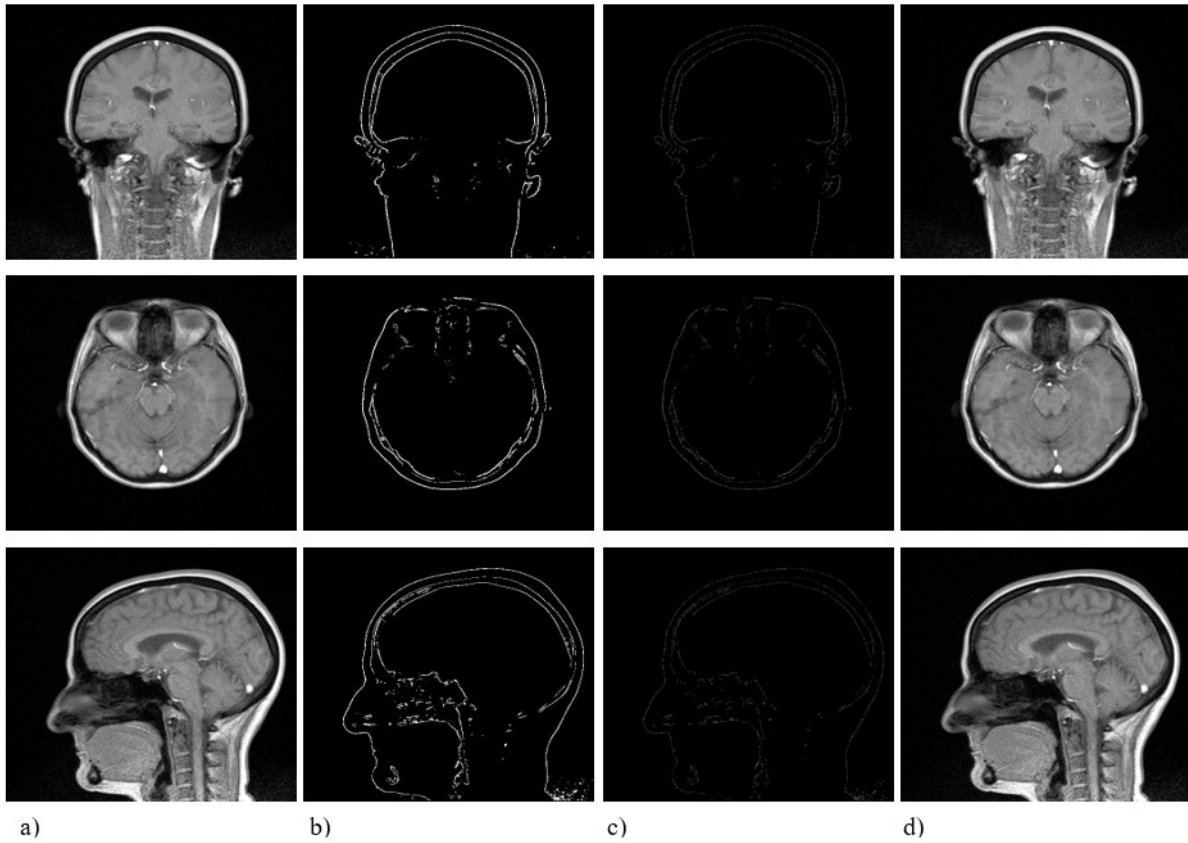
Bu çalışmada, taşıyıcı ve mesaj görüntülerinin üçüncü seviye ADD'si alınarak sırasıyla LL_T ve LL_M yaklaşık katsayıları elde edilmiştir. Ardından görüntülerin LL alt bantlarının TDA dönüşümü Eşitlik 4 kullanılarak elde edilmiştir ve bu dönüşüm sonrası S değerleri Eşitlik 5 yardımı ile birleştirilmiştir (LL_S).

$$S_{ST} = S_T + (\alpha * S_M) \quad (5)$$

α değeri deneysel olarak 0,010 alınmıştır. Ardından, ters TDA işleminde mesajı içeren S_{ST} kullanılarak taşıyıcı görüntünün LL_S alt bantı elde edilmiştir. Son olarak damga görüntü, taşıyıcı görüntünün alt bantlarının (LL_S, HL_S, LH_S, HH_S) katsayıları aracılığıyla ters ADD ile oluşturulmuştur.

3. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

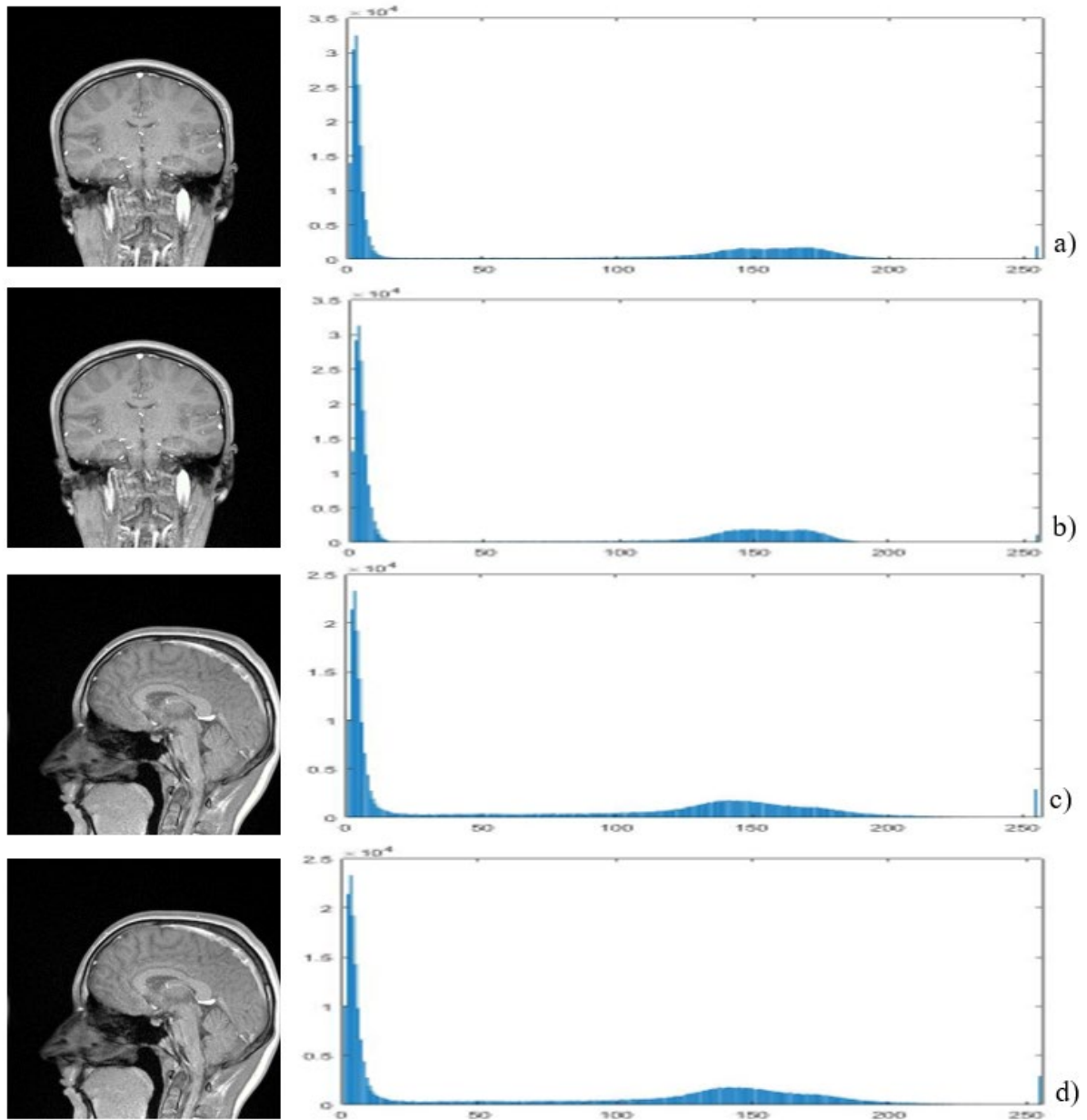
Bu çalışmada, beyin MR görüntülerinin başlık kısmında yer alan kişisel bilgiler her hasta için görüntüye ait raporlarla birleştirilerek gizli mesaj oluşturulmuştur. Şekil 3b ve 3c'de görüldüğü gibi HI yöntemiyle taşıyıcı görüntünün RONI'si belirlenmiş ve bu bölgedeki piksellere AES ile şifrelenen mesajın bayt değerleri yerleştirilmiştir. ADD ve TDA yöntemleriyle de mesaj görüntü taşıyıcı görüntüyle birleştirilmiştir ve Şekil 3d'de görülen damga görüntü elde edilmiştir.



Şekil 3. a) Taşıyıcı görüntü, b) HI ile elde edilen RONI, c) görüntüye dönüştürülen mesaj, d) damga görüntü

Çalışmada mesaj gizlemenin gözle farkedilmediğini ortaya koymak için Şekil 4’de verilen taşıyıcı ve damga görüntüleri arasında histogram analizi yapılmıştır. Buna göre, damga görüntülerdeki bozulma gözle fark edilememektedir ve görüntülerin histogramlarında da belirgin farklılıklar oluşmamıştır.

Geliştirilen yöntemin performansı, 30 hastanın 3 adet taşıyıcı MR görüntüleri ve gizleme sonrası elde edilen damga görüntüleri arasında ölçülmüştür. PSNR görüntülerde veri gizleme sonrası oluşan bozulmayı insan algısına yakın bir şekilde ölçer [26]. UQI görüntünün korelasyonundaki azalmayı, parlaklık ve kontrast değerlerindeki bozulmayı gösterir [29]. SSIM metriği ise görüntünün yapısal bilgisindeki değişimleri belirler [30]. Çizelge 2’de, ortalama 3857 bayt veri gizleme sonrası PSNR, MSE, SSIM ve UQI değerleri sırasıyla 85,26481, 0,00105, 0,99999 ve 0,99999 olarak hesaplanmıştır. Ortalama 50368 bayt veri gizleme sonrası PSNR, MSE, SSIM ve UQI değerleri sırasıyla 68,32537, 0,04298, 0,99997 ve 0,99998 olarak bulunmuştur. Tüm hastaların görüntüleri için ortalama PSNR, MSE, SSIM ve UQI değerleri sırasıyla $74,59353 \text{ dB} \pm 3,92631$, $0,01168 \pm 0,01026$, $0,99997 \pm 0,00003$, $0,99998 \pm 0,00001$ olarak elde edilmiştir. Önerilen yöntem, Şekil 4’te histogramlar arasındaki farklılıkların düşük olması ve Çizelge 2’de verilen karşılaştırma metriklerinin yüksek olması sebebiyle veri gizlemenin fark edilmeme özelliğini sağlamıştır. Aynı zamanda geliştirilen yöntem, yüksek performans değerlerini koruyarak 50368 bayt veri gizlediği için yüksek kapasitelidir.



Şekil 4. a) Koronel kesit için taşıyıcı görüntü, b) koronel kesit için damga görüntü, c) sagittal kesit için taşıyıcı görüntü, d) sagittal kesit için damga görüntü

Çizelge 2. Taşıyıcı ve damga görüntülerin performans karşılaştırması

Hasta ID	PSNR (dB)	MSE (0-1)	SSIM (0-1)	UQI (0-1)	Kapasite (bayt)
P1	68,32537	0,04298	0,99997	0,99998	50368
P2	74,78894	0,00666	0,99998	0,99998	13359
P3	76,70828	0,00632	0,99986	0,99997	14320
P4	76,39956	0,00788	0,99998	0,99998	16431
P5	76,06551	0,00621	0,99999	0,99999	11978
P6	74,37595	0,00693	0,99997	0,99998	14059
P7	76,06951	0,00777	0,99998	0,99998	16700
P8	69,23462	0,02716	0,99995	0,99996	32062
P9	73,05576	0,01220	0,99996	0,99997	20407
P10	70,32109	0,01223	0,99992	0,99992	16202

P11	78,64431	0,00307	0,99999	1,00000	7891
P12	77,04084	0,00510	0,99998	0,99998	11548
P13	74,11586	0,00699	0,99998	0,99998	11292
P14	69,98192	0,01990	0,99998	0,99998	27664
P15	73,59841	0,00755	0,99998	0,99998	16673
P16	79,76366	0,00279	0,99999	0,99999	7277
P17	68,87733	0,02585	0,99997	0,99998	40017
P18	77,25020	0,00495	0,99998	0,99998	10168
P19	69,74864	0,03689	0,99998	0,99999	49214
P20	78,80069	0,00378	0,99998	0,99998	7478
P21	77,29670	0,00464	0,99999	0,99999	11045
P22	74,35978	0,01432	0,99998	0,99998	27035
P23	74,01206	0,00767	0,99997	0,99998	15698
P24	70,99198	0,02108	0,99995	0,99996	30186
P25	71,98723	0,01151	0,99997	0,99997	17647
P26	74,84307	0,00779	0,99999	0,99999	14441
P27	78,45380	0,00356	0,99998	0,99998	7833
P28	69,47810	0,01962	0,99998	0,99997	31094
P29	85,26481	0,00105	0,99999	0,99999	3857
P30	77,95186	0,00610	0,99998	0,99997	11653
Minimum	85,26481	0,00105	0,99999	0,99999	3857
Maksimum	68,32537	0,04298	0,99997	0,99998	50368
Ortalama	74,59353	0,01168	0,99997	0,99998	-
Std. sapma	3,92631	0,01026	0,00003	0,00001	

Çizelge 2- Devamı

Çalışmada, referans tabanlı olmayan BRISQUE, NIQE ve PIQE metrikleri kullanılarak orjinal ve damgalı görüntülerdeki algısal kalite ayrı ayrı belirlenmiştir [31-33]. Çizelge 3'e göre, 30 hastanın orjinal görüntüleri için ortalama BRISQUE, NIQE ve PIQE değerleri sırasıyla $34,9936 \pm 3,2329$, $4,9094 \pm 0,3018$ ve $44,5547 \pm 1,6843$ olarak hesaplanmıştır. Damgalı görüntülerin aynı metrik değerleri sırasıyla $35,0243 \pm 3,2506$, $4,9074 \pm 0,3011$ ve $44,5801 \pm 1,6793$ 'tür. Literatüre göre BRISQUE ve PIQE değerleri 0-100 aralığında olmalıdır ve tüm metrik hesaplamaları için düşük değer daha iyi algısal kalite ifade etmektedir [31-33]. Çalışmada tüm görüntülerin BRISQUE ve PIQE değerleri 0-100 aralığındadır. Ayrıca, elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde orjinal görüntüler ile damgalı görüntüler arasında algısal kalitenin değişmediği görülmektedir.

Çizelge 3. Taşıyıcı ve damga görüntülerin performans karşılaştırması

Hasta ID	BRISQUE		NIQE		PIQE	
	Orjinal Görüntü	Damgalı Görüntü	Orjinal Görüntü	Damgalı Görüntü	Orjinal Görüntü	Damgalı Görüntü
P1	26,2200	26,1362	5,8079	5,7970	42,0993	42,0728
P2	38,5315	38,5604	4,7768	4,7745	45,5557	45,5930
P3	38,9336	38,9600	4,9703	4,9723	44,9283	44,9650
P4	41,4078	41,4335	4,4854	4,4824	46,3583	46,4132
P5	34,1193	34,1604	4,9921	4,9911	43,9163	44,0098
P6	35,1675	35,2242	4,7514	4,7512	43,6871	43,6921
P7	33,7699	33,7716	4,8252	4,8228	43,6727	43,6874
P8	37,8253	37,9214	4,5932	4,5896	43,6009	43,6841
P9	32,4499	32,5094	4,9221	4,9174	41,6737	41,6359
P10	36,4553	36,5473	4,6066	4,6025	45,6879	45,7213
P11	38,0696	38,0898	4,9872	4,9832	45,8740	45,8923
P12	34,5375	34,5669	5,4374	5,4322	44,1611	44,2414
P13	35,2205	35,2510	4,7158	4,7150	46,2929	46,3132
P14	35,4304	35,4362	4,9434	4,9421	43,0066	43,1782
P15	38,6187	38,6964	4,7849	4,7871	46,3830	46,3079
P16	32,7414	32,7325	5,1229	5,1230	44,7735	44,8366
P17	31,3947	31,4441	4,9400	4,9284	42,2077	42,1556

P18	36,6647	36,7261	4,7620	4,7596	45,6077	45,6461
P19	34,6269	34,6245	5,3506	5,3492	42,0294	42,0978
P20	32,9549	32,9669	4,9977	5,0042	44,9331	44,9914
P21	32,6772	32,7149	4,6808	4,6804	45,5731	45,5745
P22	34,0423	34,0613	4,8894	4,8915	43,9039	43,9575
P23	34,9046	34,9433	4,6847	4,6816	44,3427	44,3213
P24	33,1531	33,2838	4,8824	4,8834	43,8272	43,7615
P25	35,2377	35,2954	4,5765	4,5760	45,1394	45,0752
P26	37,4742	37,4883	5,0711	5,0706	44,5557	44,5644
P27	34,1050	34,1245	4,9529	4,9504	45,5102	45,5392
P28	30,1793	30,1118	5,0407	5,0321	46,0561	46,0697
P29	41,2324	41,2536	4,3511	4,3478	49,3610	49,3803
P30	31,6636	31,6920	5,3805	5,3820	41,9221	42,0240
Minimum	26,2200	26,1362	4,3511	4,3478	41,6737	41,6359
Maksimum	41,4078	41,4335	5,8079	5,7970	49,3610	49,3803
Ortalama	34,9936	35,0243	4,9094	4,9074	44,5547	44,5801
Std. sapma	3,2329	3,2506	0,3018	0,3011	1,6843	1,6793

Çizelge 3- Devamı

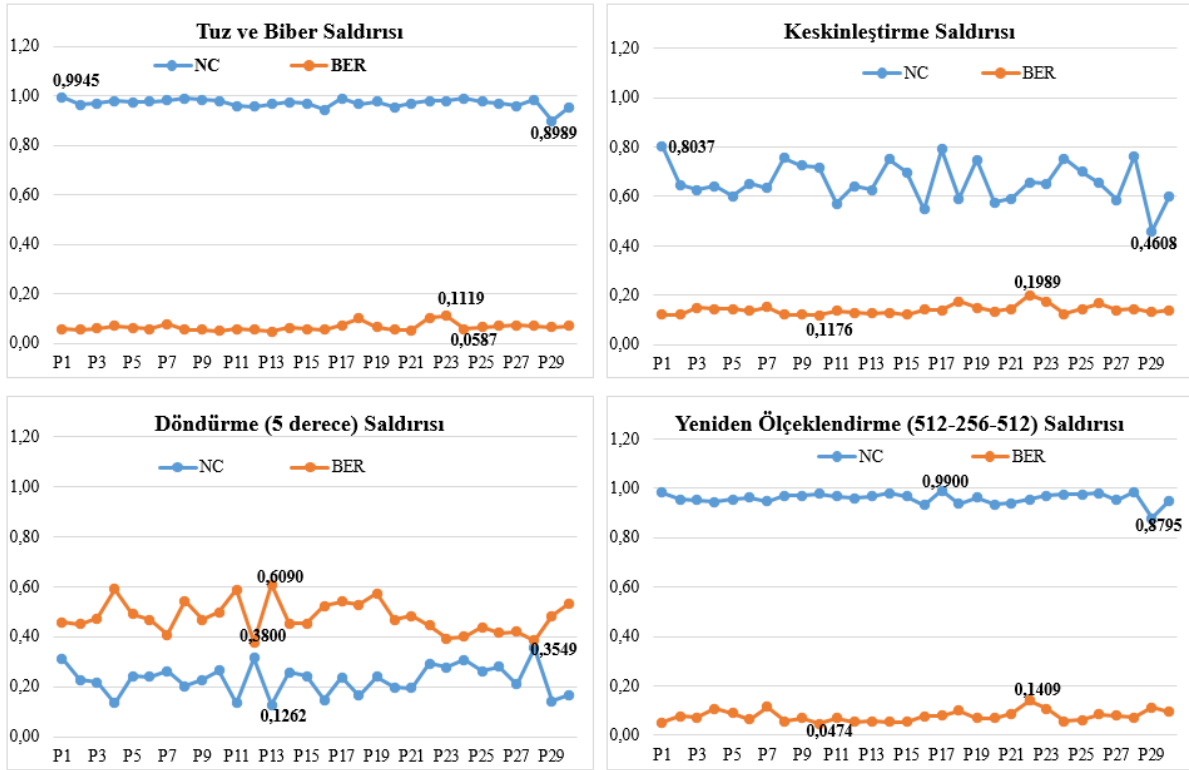
3.1. Dayanıklılık Analizleri

Çalışmada tıbbi görüntülerde, RONI tabanlı ADD-TDA kullanarak hasta bilgilerini damgalayan yöntemin saldırılara karşı dayanıklılığı test edilmiştir. Tuz ve biber saldırısı 0,01 yoğunluk ile gerçekleştirilmiştir ve çıkarılan damga ile gizlenen mesaj görüntüler arasındaki minimum ve maksimum NC ve BER değerleri sırasıyla 0,8989-0,9945 ve 0,0475-0,1119 aralığında bulunmuştur. Tüm görüntüler için ortalama NC ve BER değerleri sırasıyla $0,9704 \pm 0,0183$ ve $0,0658 \pm 0,0157$ olarak hesaplanmıştır. Döndürme (5 derece) saldırısı sonrasında minimum ve maksimum NC ve BER değerleri sırasıyla 0,1262-0,3549 ve 0,3800-0,6090 olarak bulunmuştur. Tüm görüntüler için ortalama NC ve BER değerleri sırasıyla $0,2293 \pm 0,0599$ ve $0,4793 \pm 0,0635$ olarak hesaplanmıştır. Keskinleştirme (3x3 pencere, yoğunluk 0,8) saldırısı için minimum ve maksimum NC ve BER değerleri sırasıyla 0,4608-0,8037 ve 0,1176-0,1989 aralığında elde edilmiştir. Tüm görüntüler için ortalama NC ve BER değerleri $0,6598 \pm 0,0806$ ve $0,1403 \pm 0,0187$ olarak bulunmuştur. Yeniden ölçeklendirme (512-256-512) saldırısı sonrasında minimum ve maksimum NC ve BER değerleri 0,8795-0,9900 ve 0,0474-0,1409 aralığında hesaplanmıştır. Tüm görüntüler için ortalama NC ve BER değerleri $0,9601 \pm 0,0219$ ve $0,0772 \pm 0,0226$ olarak bulunmuştur.

3.2. Literatür Karşılaştırma

Çizelge 4'te, ROI ya da RONI tabanlı damgalama yapan çalışmalar ile bu çalışmanın sonuçları kıyaslanmıştır. Üstübioğlu ve ark. [21] ADD ve Hızlı HWHD yöntemlerini birleştirerek 512x512 boyutlu tıbbi görüntülerin ROI'lerinde 120x120 boyutlu logoyu damgalamışlardır. Saldırılara karşı dayanıklı olan yöntemde, yaklaşık 14400 bayt verinin damgalanması sonrası PSNR değerleri 48,56 ile 48,69 dB aralığında elde edilmiştir. Ancak, görüntülerde ROI ve RONI tespitinin nasıl yapıldığı belirtilmemiştir ve ilgi bölgesinde yapılan damgalama tanı ve tedaviyi etkileme riski taşımaktadır. Diğer bir çalışmada [22] tıbbi görüntülerin YSA ile tespit edilen ROI'lerinde TDA, HWD ve SLT gibi üç dönüşüm tekniği kullanılarak veri damgalanmıştır. Ayrıca, ABC algoritması ile kullanılan yöntemlerin parametreleri optimize edilmiştir. Çalışmada, 66048 ve 272448 bit veri gizlenmesi ile elde edilen PSNR değerleri 48,85 ve 43,07 dB'dir. Dayanıklı ve yüksek kapasiteli bu yöntem karmaşık adımlar içermektedir ve mesaj kapasitesi arttıkça PSNR değerleri düşmektedir. Karakis ve ark. [26] LSB yöntemi kullanarak, hasta kişisel bilgileri, doktor yorumu, EEG raporu ve EEG sinyalinden oluşturdukları gizli mesajı, ADD ve k-ortalama küme ile tespit ettikleri tümör alanı dışındaki RONI'de gizlemişlerdir. 176x176 ve 2048x2048 boyutlarındaki tıbbi görüntülerdeki veri gizleme kapasiteleri 3527 ve 470960 bayttır ve elde edilen PSNR değerleri 61,18 ile 68,92 dB aralığındadır. Geliştirilen

yöntem tümör dışındaki RONI'lerde veri gizlediğinden tanı ve teşhisi etkilememiştir. Ancak, kullanılan LSB tabanlı gizleme işlemi saldırılara karşı dayanıklı değildir.



Şekil 5. Tuz ve biber, keskinleştirme, döndürme ve yeniden ölçeklendirme saldırıları sonucunda gizlenen mesaj görüntüler ve çıkarılan damga görüntüler arasındaki NC ve BER değerleri

Literatürde, medikal görüntülerde ROI analizi yapmayan ancak bu çalışma ile aynı dönüşümleri kullanarak damgalama yapan çalışmalar da mevcuttur [23-25]. Zermi ve ark. [23] ADD ve TDA kullanarak hasta kişisel bilgilerini, görüntüye ait bilgileri ve özeti damgalamıştır. Bu çalışmada, 2546 bit (318 bayt) veri için 57,41 dB PSNR değeri elde edilmiştir. Önerilen yöntemin dayanıklılığı yüksek ancak mesaj gizleme kapasitesi düşüktür. Diğer bir çalışmada [24] hasta kişisel bilgileri, AKD-Schur Dönüşümü ya da ADD-Schur Dönüşümü kullanılarak damgalanmıştır. Bu yöntemlerin mesaj gizleme kapasiteleri sadece 682 bit (85 bayt) ve 1026 bit (128 bayt)'tır.

Çizelge 4. Literatür karşılaştırması

Çalışma	Yöntem	Mesaj	Kapasite	PSNR (dB)
Üstübioğlu ve ark. [21]	ROI tespiti (bilinmiyor)/ ADD+HWHD	Logo+blok bilgi ve özet	120x120 boyutlu logo (115200 bit-14400 byte)	48,56-48,69
Bamal ve ark. [22]	ROI tespiti (YSA)/ TDA+HWD+SLT	Özet+kişisel bilgi, parmak izi ve şifreleme anahtarı	66048 bit (8.256 bayt) 272448 bit (34.056 bayt)	48,85 43,07
Zermi ve ark. [23]	ADD ve TDA	Hasta kişisel bilgileri, görüntü bilgileri ve özet	2546 bit (318 bayt)	57,41
Fares ve ark. [24]	AKD-Schur yada ADD-Schur dönüşümü	Hasta kişisel bilgileri	682 bit (85 bayt) 1026 bit (128 bayt)	47,98 49,20

Karakis ve ark. [25]	ADD+TDA	Hasta kişisel bilgileri	-	55,18-56,81
Karakis ve ark. [26]	RONI tespiti (ADD ve k-ortalama kümeleme)/ LSB	Hasta kişisel bilgileri, EEG sinyalleri, EEG rapor ve doktor yorumu	28216 bit (3527 bayt) 3767680 bit (470960 bayt)	61,18-68,93
Bu çalışma	RONI tespiti (Histogram istatistiği)/ ADD+TDA	Hasta kişisel bilgileri, MR raporu	30856 bit (3857 bayt) 402944 bit (50368 bayt)	85,27 68,36

Çizelge 4- Devamı

Bu çalışmada, öncelikle HI kullanılarak beyin MR görüntülerindeki ilgi olmayan kenar bölgeleri tespit edilmiştir. Maske görüntüsünde işaretlenen piksellere, AES-256 ile şifrelenen hasta kişisel bilgileri ve MR raporu yerleştirilmiştir ve böylece mesaj görüntüye dönüştürülmüştür. Bu mesaja ve MR görüntülerine ADD ve TDA uygulanmış ve görüntülerin tekil değerleri birleştirilerek damga görüntü elde edilmiştir. Önerilen yöntemde, 30856 bit (3857 bayt) ve 402944 bit (50368 bayt) veri gizlenmesi sonrasında elde edilen PSNR değerleri 85,27 ve 68,36 dB olarak bulunmuştur. Yöntemin gizleme kapasitesi ve performans karşılaştırma değerleri literatürdeki benzer çalışmalardan yüksektir. Yöntemin gizleme kapasitesi, HI tekniğinde kullanılan parametreler değiştirilerek artırılabilir. Ayrıca, önerilen yöntemin, Şekil 4 ve 5'te verilen histogram ve saldırı analiz sonuçlarına göre farkedilmez ve sağlam olduğu gösterilmiştir.

4. Sonuç

Son yıllarda, hastaların kişisel kayıtlarının güvenliği, tıbbi görüntülerde damgalama teknikleri kullanılarak sağlanmaktadır. Damgalama işleminin tanı ve tedaviyi etkilememesi için gizleme işlemi görüntülerdeki yumuşak dokular, tümör, ödem gibi ilgi bölgeleri dışında gerçekleştirilmelidir. Literatürde önerilen tıbbi damgalama tekniklerinde, ilgi bölgelerinin kullanılmasıyla tanı ve tedavinin etkilenmesi, düşük mesaj kapasitesinin varlığı ya da saldırılara karşı sağlam olamaması gibi problemler mevcuttur. Bu sebeple, bu çalışmada tıbbi veri güvenliğinin sağlanması için görüntülerin RONI'lerinde kenar tabanlı kör olmayan damgalama gerçekleştirilmiştir. Çalışmada önerilen HI yönteminde, görüntünün global ve lokal ortalama ve standart sapma değerlerinin kıyaslanması sonucunda görüntüdeki beyin dışında kalan kafatası ve deri gibi RONI bölgelerindeki pikseller tespit edilmektedir. Hasta kişisel bilgileri ve MR raporlarını içeren mesaj, bu RONI piksellerine yerleştirilerek görüntüye dönüştürülmüştür. ADD ve TDA yöntemleri kullanılarak elde edilen mesaj görüntüdeki tekil değerleriyle taşıyıcı görüntüdeki tekil değerleri birleştirilerek damga görüntü oluşturulmuştur. Önerilen damgalama sisteminin farkedilmezliğinin analizi amacıyla, orjinal görüntüler ile damga görüntüler arasındaki farklılık, MSE, PSNR, UQI ve SSIM performans değerleri kullanılarak tespit edilmiştir. Ayrıca, damgalı görüntülerin orjinal görüntülere göre algısal kalitesinin bozulmadığı, referans tabanlı olmayan BRISQUE, NIQE, PIQE metrikleri kullanılarak ortaya konulmuştur. Elde edilen performans ve histogram analiz sonuçlarına göre, önerilen kör olmayan kenar tabanlı damgalama sisteminin farkedilmezliği ve saldırı analizlerine göre de sağlamlığı gösterilmiştir. Ayrıca, geliştirilen yöntemin veri gizleme kapasitesi literatürdeki benzer çalışmalara göre yüksektir.

Gelecekte, HI tekniğinde kullanılan parametrelerin yapay zekâ teknikleri ile optimize edilmesi sağlanabilir ve bunun damgalamaya etkisi incelenebilir.

Kaynaklar

- [1] Karakış R, Güler İ, Çapraz İ, Bilir E. A novel fuzzy logic-based image steganography method to ensure medical data security. *Computers in Biology and Medicine* 2015; 67: 172-183.
- [2] Coatrieux G, Maitre H, Sankur B, Rolland Y, Collorec R. Relevance of watermarking in medical imaging, information technology applications in biomedicine. *Proceedings. 2000 IEEE EMBS International Conference on*, 2000; 250-255.
- [3] Nyeem H, Boles W, Boyd, C. A Review of Medical Image Watermarking Requirements for Teleradiology, *J. Digit. Imaging* 2013; 26: 326-343.
- [4] Coatrieux G, Lecornu L, Sankur B, Roux C. A Review of Image Watermarking Applications in Healthcare. *Engineering in Medicine and Biology Society 2006, EMBS '06. 28th Annual International Conference of the IEEE 2006*; 4691-4694.
- [5] Haidekker M. *Image Storage, Transport, and Compression*. Wiley-IEEE Press, Edition. 2001; 1: 386-412.
- [6] Kuang L-Q, Zhang Y, Han X. Watermarking Image Authentication in Hospital Information System. *Information Engineering and Computer Science 2009. ICIECS 2009*; 1-4.
- [7] Navas KA, Sasikumar M. Survey of Medical Image Watermarking Algorithms. *SETIT 2007 4th International Conference: Sciences of Electronic, Technologies of Information and Telecommunications, TUNISIA 2007*; 1-6.
- [8] Karakis R, Guler I. *Steganography and Medical Data Security, Cryptographic and Information Security Approaches for Images and Videos* (Ed. S. Ramakrishnan, CRC Press, ISBN 9781138563841; 2018.
- [9] Golpira H, Danyali H. Reversible blind watermarking for medical images based on wavelet histogram shifting. *IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology (ISSPIT) 2010*; 31–36.
- [10] Fallahpour M, Megias D, Ghanbari M. Reversible and high-capacity data hiding in medical images. *Image Processing, IET 2011*; 5 (2): 190-197.
- [11] Raul R-C, Claudia F-U, Trinidad-Bias GJ. Data Hiding Scheme for Medical Images. *Electronics, Communications and Computers, 2007. CONIELECOMP '07. 17th International Conference on*, 2007; 32-37.
- [12] Ravali K, Kumar AP, Asadi S. Carrying Digital Watermarking for Medical Images using Mobile Devices, *IJCSET 2011*; 1(7): 366-369.
- [13] Joshi I, Pawar VN. Secure Medical Image Watermarking. *International Journal of Research in Advent Technology 2014*; 2(42): 266-42.
- [14] Mavudila R, Masmoudi Lh, Cherkaoui M, Hamri M, Hassanain N. Medical Image Watermarking Based on M-band Wavelet Transform. *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER) 2012*; 2(4): 2711-2718.
- [15] Giakoumaki A, Perakis K, Banitsas K, Giokas K, Tachakra S, Koutsouris D. Using Digital Watermarking to Enhance Security in Wireless Medical Image Transmission. *Telemedicine and E-Health 2010*; 16(3): 306-313.
- [16] Jiao S, Goutte R. Secure Transfer of Identification Information in Medical Images by Steganocryptography. *Int. J. Communications, Network and System Sciences 2010*; 3: 801-804.
- [17] Giakoumaki A, Pavlopoulos S, Koutsouris D. Secure and efficient health data management through multiple watermarking on medical images. *Med Bio Eng Comput 2006*; 44: 619-631.
- [18] Nambakhsh MS, Ahmadian A, Zaidi H (2011). A contextual based double watermarking of PET images by patient ID and ECG signal. *Computer Methods and Programs in Biomedicine 2011*; 104 (3): 418-425.
- [19] Nambakhsh MS, Ahmadian A, Ghavami M, Dilmaghani RS, Karimi-Fard S. A Novel Blind Watermarking of ECG Signals on Medical Images Using EZW Algorithm. *Proceedings of the 28th IEEE-EMBS Annual International Conference New York City, USA, 2006*; 3274-3277.
- [20] Acharya UR, Niranjana UC, Iyengar SS, Kannathal N, Min LC. Simultaneous Storage of Patient Information with Medical Images in the Frequency Domain. *Computer Methods and Programs in Biomedicine 2004*; 76(1): 13-19.

- [21] Üstübioğlu A, Ulutaş G, Üstübioğlu B. Watermarking medical images with IDWT-FWHT. 2018 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), Izmir, 2018,1-4.
- [22] Bamal R, Kasana SS. Dual hybrid medical watermarking using walsh-slantlet transform. *Multimed Tools Appl* 2019; 78:17899-17927.
- [23] Zermi N, Khaldi A, Kafı R, Kahlessenane F, Euschi, S. A DWT-SVD based robust digital watermarking for medical image security. *Forensic Science International* 2021; 320: 110691.
- [24] Fares K, Khaldi A, Redouane K, Salah E, DCT & DWT based watermarking scheme for medical information security. *Biomedical Signal Processing and Control* 2021; 66: 102403.
- [25] Karakis R, Gurkahraman K, Cigdem B, Oztoprak I, Topaktas AS. Hiding Patient Information into Magnetic Resonance Images Using DNA Based Wavelet Transform. *The Conferences of International Journal of Arts & Sciences' (IJAS) Montreal-Canada, Academic Journal of Science, CD-ROM. ISSN: 2165-6282., 2018; 08 (02): 161-170.*
- [26] Karakis R, Gurkahraman K, Cigdem B, Oztoprak I, Topaktas AS. Evaluation of Segmented Brain Regions for Medical Image Steganography. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 2021, Accepted.
- [27] Gonzales R, Woods RE. *Digital Image Processing*, Pearson Prentice Hall, USA, 2008.
- [28] Desai SS, Chavan MS. Comparative Analysis of Singular Value Decomposition (SVD) and Wavelet Difference Reduction (WDR) based Image Compression. *International Journal of Engineering Research and Technology* 2017; 10(1): 491-496.
- [29] Wang Z, Bovik AC. A Universal Image Quality Index. *IEEE Signal Processing Letters* 2002; 9(3): 81-84.
- [30] Wang Z, Bovik AC, Sheikh HR, Simoncelli EP. Image quality assessment: From error visibility to structural similarity. *IEEE Transactions on Image Processing* 2004; 13 (4): 600-612.
- [31] Mittal A, Moorthy AK, Bovik AC. No-Reference Image Quality Assessment in the Spatial Domain. *IEEE Transactions on Image Processing* 2012; 21 (12): 4695–4708.
- [32] Mittal A, Soundararajan R, Bovik AC. Making a Completely Blind Image Quality Analyzer. *IEEE Signal Processing Letters* 2013; 22 (3): 209–212.
- [33] Venkatanath V, Praneeth D, Chandrasekhar Bh.M, Channappayya SS, Medasani SS. Blind Image Quality Evaluation Using Perception Based Features. In *Proceedings of the 21st National Conference on Communications (NCC). Piscataway, NJ: IEEE, 2015.*

UNSUPERVISED MACHINE LEARNING ALGORITHMS TO FIND 3-KCP SOLUTION: MODULARITY, CLIQUE PERCOLATION, SPECTRAL, CENTRALITY, AND HIERARCHICAL CLUSTERING

Serkan GÜLDAL^{1*}

¹Department of Physics, Faculty of Arts and Sciences, Adiyaman University, Adiyaman, 02040, Turkey
Geliş tarihi: 25.03.2021 Kabul tarihi: 07.06.2021

ABSTRACT

Unsupervised learning algorithms are used in many engineering applications since they extract information by the minimum human interaction. Modularity is one of the well known unsupervised machine learning algorithms to classify the network of information, so the relational information is highlighted. The closely related data points gather together to create relatively dense subcommunities. Thus, the meaningful relationships between data points (a.k.a. nodes or vertices) could be extended to the common properties of the data points. In this study, we aim to solve 3-KCP which is inherently a combinatorics problem by the modularity classification. Additionally, we compared the result with the well-known clustering algorithms, namely Clique Percolation, Spectral, Centrality, and Hierarchical clustering. Our investigation by means of modularity includes extended resolutions from 0.1 to 2.1, and 1.0 is the optimum resolution to find all 3-KCP solutions for the Modularity algorithm. Comparison of the modularity with the specified clustering algorithms shows the superiority of the modularity algorithm because compared algorithm provides wrong clusters by means of N-KCP or identified clusters by modularity.

Keywords: *Knigh Graph; Modularity; Unsupervised Learning; 3-KCP*

3-KCP ÇÖZÜM BULMAK İÇİN DENETİMSİZ ÖĞRENME ALGORİTMASI: MODÜLERLİK, KLİK SÜZME, SPEKTRAL, MERKEZİYET VE HİYERARŞİK KÜMELEME

ÖZ

Denetimsiz öğrenme algoritmaları, bilgiyi minimum insan etkileşimi ile çıkardıkları için birçok mühendislik uygulamasında kullanılırlar. Modülerlik verileri sınıflandırmak için iyi bilinen denetimsiz öğrenme algoritmalarından biridir, böylece ilişkisel bilgiler vurgulanır. Yakın ilişkili veri noktaları, nispeten yoğun alt topluluklar oluşturmak için bir araya gelir. Böylece, veri noktaları (yada düğümler) arasındaki anlamlı ilişkiler, veri noktalarının ortak özelliklerine genişletilebilir. Bu çalışmada, modülerlik sınıflandırması ile doğası gereği kombinatorik bir problem olan 3-KCP'yi çözmeyi amaçlıyoruz. Bununla birlikte sonuçlarımızı iyi bilinen kümeleme algoritmaları Klik Süzme, Spektral, Merkeziyet ve Hiyerarşik kümeleme ile karşılaştırdık. Araştırmamız, 0.1'den 2.1'e genişletilmiş çözünürlükleri içerir ve 1.0, tüm 3-KCP çözümlerini bulmak için en uygun çözünürlük olduğunu gösteriyor. Modülerliğin belirtilen kümeleme algoritmalarıyla karşılaştırılmamız modülerlik algoritmasının diğer metotlara göre daha avantajlı olduğu gösterdi çünkü karşılaştırılan algoritma, N-KCP anlamında yanlış kümeler veya modülerlikle tanımlanan kümeler olarak sonuçlandı.

Keywords: *At Çizelgesi; Modülerlik; Denetimsiz öğrenme; 3-KCP*

1. Introduction

Unsupervised Machine Learning (UML) methods are gaining momentum while the collected data increases. UML classifies the subjected data without instruction to extract the desired information. UML improves the results as it progresses, so the initial results are more error prone than previously generated outputs. For example, the fast unfolding modularity algorithm is one of the well-known UML to cluster

*e-posta: sguldal@adiyaman.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4247-0786> (Sorumlu Yazar)

graphs [1]. The clustered graphs presents the close connections within the graph. Moreover, the UML is not limited with graph. The UML is utilized for Odometry [2], Big Data Analysis [3], face recognition [4], security [5], intelligent image analysis [6], video applications [7, 8], digital signal processing [9, 10], Voice Activity Detection [11], and energy systems [12] because of it is adaptability and superior understanding of the system and the material. We used UML to solve Knight Covering Problem (N-KCP).

The knight which is the main component of N-KCP is in a special place for the chess players because of surprising the opponent by its unique movement capability. The knight moves have been utilized in image encryption [13, 14] and many other algorithms [15-17]. Similarly, the knight's tour problem is studied solely by researchers because of its entertaining nature [18]. The knight move capability created a playground to the numerous versions of N-KCP which are investigated continuously by better algorithms [19-26]. There are many methods to solve the knight graphs to find Knight Covering Problems' solutions such as the independent set method [27, 28] and Girvan-Newman clustering algorithm [29]. Moreover, N-KCP has the potential to be used for permutation generation by the identified solutions.

In this study, we focused on 3-KCP by various clustering methods. 3-KCP has 9 cells to be occupied by the knights as shown in Figure 1. In Figure 2, the knight graph representation is presented. It is generated by the movements of the knights in the indexed board. For example, the knight which is placed in cell number 1 has ability to attack cells number 6 and 8. Thus, a knight in the cell 1 can cover 3 cells including occupied cell. This is true for all cells but cell 5. Similarly, the full capability of every cell is shown in the Figure 1.

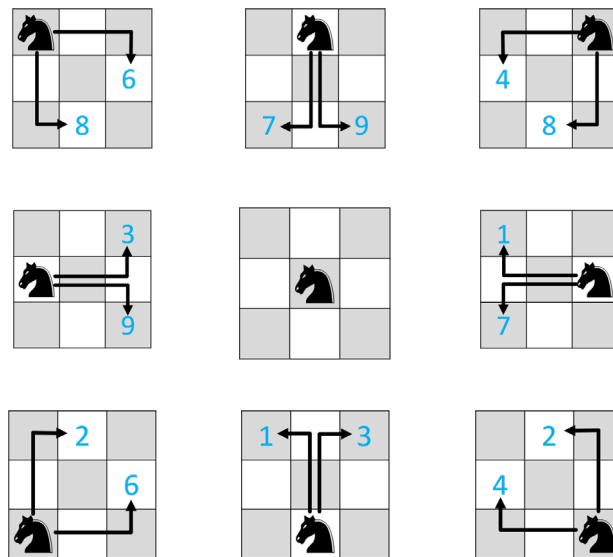
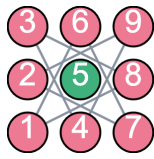


Figure 1. 3-KCP has 9 cells to position the knight

3-KCP graph is generated solely by reachability of the cells, and it is depicted by color-coded nodes in Figure 2. The colors of the nodes stand for the degrees of the nodes which are 2 and 0. The knights are on the corners and edges (dark pink) can attack to 2 nodes. In other words, they are 2-degree nodes. The other only node, node 5, has 0 degree because of the 3x3 board topology. The average degree is 1.778. The network diameter is 4 with a 2.2857 average path length. The density of the overall network is 0.222. Every knight can attack 2 cells since either corner or edge cell, but the knight is positioned in cell 5. Since the other cells too close, it is beyond the knight attacks' capability.



Color code	Degree	Percentage in the graph (%)
●	0	11.11
●	2	88.89

Figure 2. 3-KCP graph is colored with respect to the degrees

There are developed algorithms to solve N-KCP by utilizing knight graphs. In Figure 3, all solutions of 3-KCP are found by the independent set algorithm introduced by Güldal et al. [27].

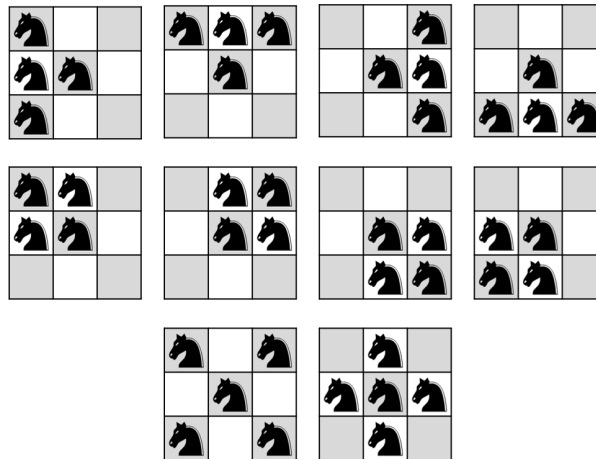


Figure 3. All 3-KCP solutions

In this study, the knight graph illustration of 3-KCP is analyzed by modularity phenomena with comparison of well known algorithms.

2. Materials and Methods

In our study, we used clustering algorithms, such as modularity, to extract subcommunities [30, 31]. Thus, extracted subcommunities present the knights which are the least likely to be in the same solution. The modularity is formulated as follows:

$$Q = \frac{1}{2} \sum_{i,j} \left(A_{ij} - \gamma \frac{k_i k_j}{M} \right) s_i s_j \tag{1}$$

where $s_i s_j$ is 1 if i and j are in the same cluster. M stands for the number of edges in the graph. γ is the resolution. k_i is the degree of node i and k_j is the degree of node j . A_{ij} is the adjacency matrix.

Our application is done by the Gephi [1, 32, 33]. We applied the resolution from 0.1 to 2.1.

Additionally, the other clustering algorithms which are Clique Percolation, Spectral, Centrality, and Hierarchical are implemented to extract solutions of 3-KCP.

The application and analysis will be discussed further in the Results and Discussion section.

3. Results and Discussion

In this study, we investigate 3-KCP graph by means of graph modularity. Thus, we obtain all solutions of 3-KCP. There are extracted communities from 2 to 7 with respect to the resolutions.

In Figure 5, applications of modularity on 3-KCP (resolution = 0.1 - 2.1) graphs are shown. The resolution 0.1 is divided 3-KCP to 5 subcommunities in Figure 5.a. One of the communities has 1 node

which degree is 0. Thus, no edge is connected it is a subcommunity by itself throughout the investigation. The other 8 nodes are divided equally, 2 nodes (1-8, 2-9, 3-4, and 6-7), per sub-community. For resolution 0.2, independent nodes appear as clusters; 4, 5, and 7 are single node subcommunities as seen in Figure 5.b. Node 3 is paired with node 8, and node 1 is paired with node 6. There is no change for 2-9 subcommunity. Increasing resolution to 0.3 has 5 distinct subcommunities Figure 5.c. There is no effect on 1-6 and 3-8 pairs, but node 7 is paired with node 2, node 9 is paired with node 4. In Figure 5.d, the resolution increased to 0.4 causes bigger subcommunities while the number of communities is reduced to 4. In the new topology, 1-3-8 and 2-6-7 are the major subcommunities, 3-8 is paired, and node 5 is the single node sub-community. In Figure 5.e and f show the increase the resolution to 0.5 and 0.6, respectively, are divided 5 subcommunities. 4 of these communities have 2 nodes, and one has only one node. In Figure 5.g, h, and i, for the resolutions 0.7, 0.8, and 0.9 are divided 3-KCP graph to 4 subcommunities similar to resolution 0.4, so 2 subcommunities include 3 nodes each, and the other subcommunities have 2 nodes and 1 node. In Figure 5.j, the resolution for 1.0 divides the graph 5 subcommunities which have 2 nodes and 1 node. In Figure 5.k, resolution 1.1 is applied, the 3 subcommunities are extracted. One of them is a single node community and the other subcommunities are divided into 4 nodes evenly. In Figure 5.l, m, n, and o, resolutions are 1.2, 1.3, 1.4, and 1.5 are applied. By these resolutions, 4 subcommunities are extracted. 2 subcommunities have 3 nodes each, 1 subcommunity has 2, and the last community has 1 node. For resolution 1.6, 3 subcommunities are generated from the 3-KCP graph which is shown in Figure 5.p. The biggest subcommunity has 5 nodes, the next one has 3 nodes, and the smallest community has only 1 node. Increase the resolution to 1.7 changed topology as shown in Figure 5.q. Thus, this resolution distributed nodes evenly, 4 nodes for each. There is a similar subcommunities for the increase by means of resolution (1.8, 1.9, 2.0) as presented in Figure 5.r, s, and t. However, there is some change for the distribution of the clusters. Resolutions 2.1 and higher, there are 2 subcommunities. The small community has node number 5 which has 0 degrees. The big subcommunity has 8 nodes, the rest of the board. Thus, 2.1 is the biggest resolution for meaningful results. The clustering against to changing resolution is summarized in Figure 6.

There are a few comments on the overall modularity application. Node 5 has 0 degrees, so it is not affected by resolution changes. In other words, it is a part of the community which has a single node. Thus, it could be omitted while the new algorithms are developed and implemented. It is visibly seen for all solutions include a knight for cell 5 which is shown in Figure 3. The second comment is that there is a strong presence of symmetry while the 3-KCP graph is divided to subcommunities. The change in terms of resolutions causes pairing to node the other direct node by generating the same topology. It could be seen clearly by the circular layout in Figure 4. The other comment is that there is no direct correlation between the number of communities and the modularity resolution. Lastly, the direct connection plays a crucial role. Before secondary and tertiary connections affect the modularity, other nodes which have direct connection dominates the modularity.

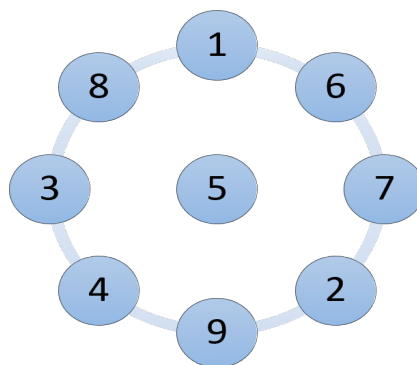


Figure 4. The circular layout of 3-KCP graph

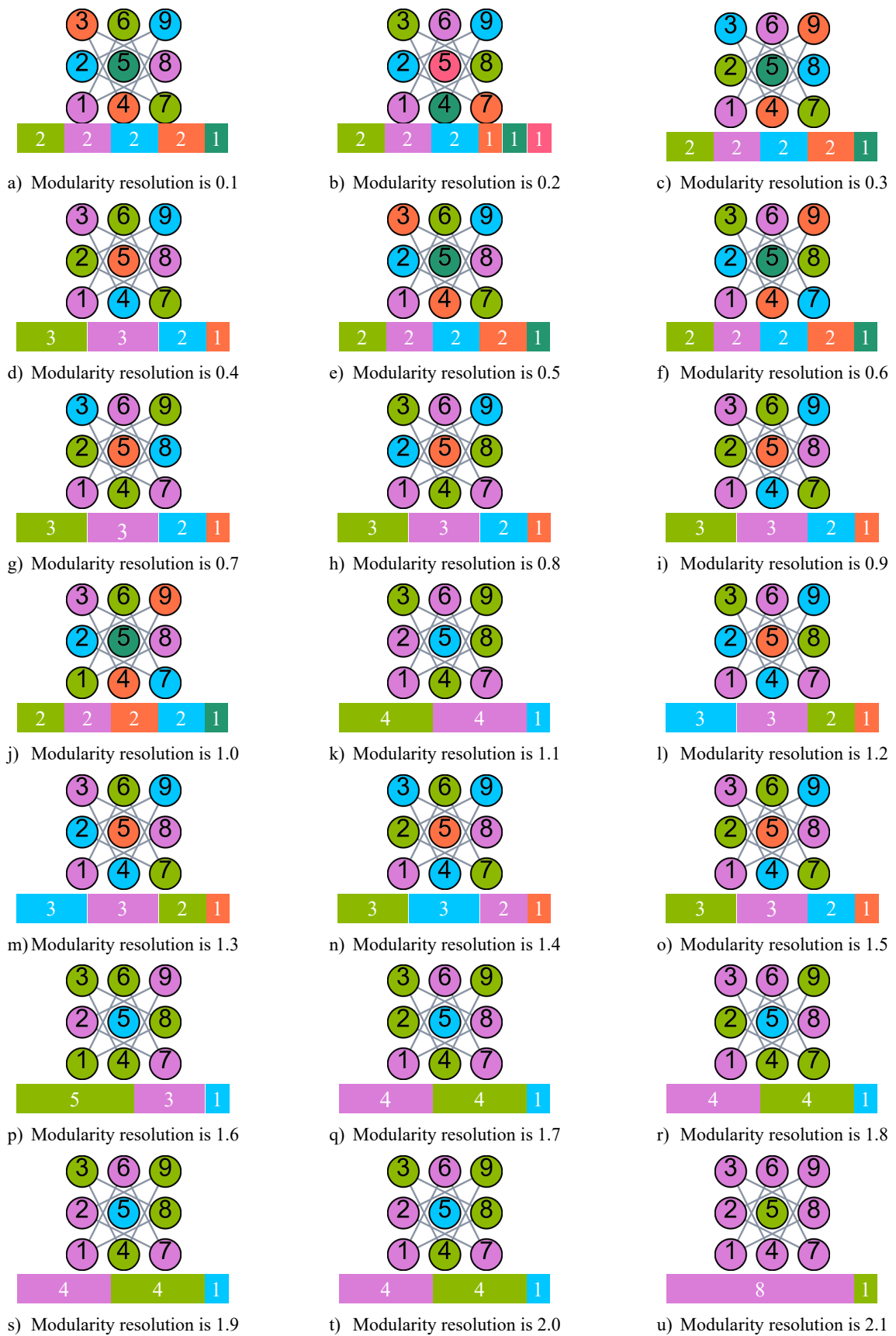


Figure 5. Modularity is applied 3-KCP graphs for various resolutions.

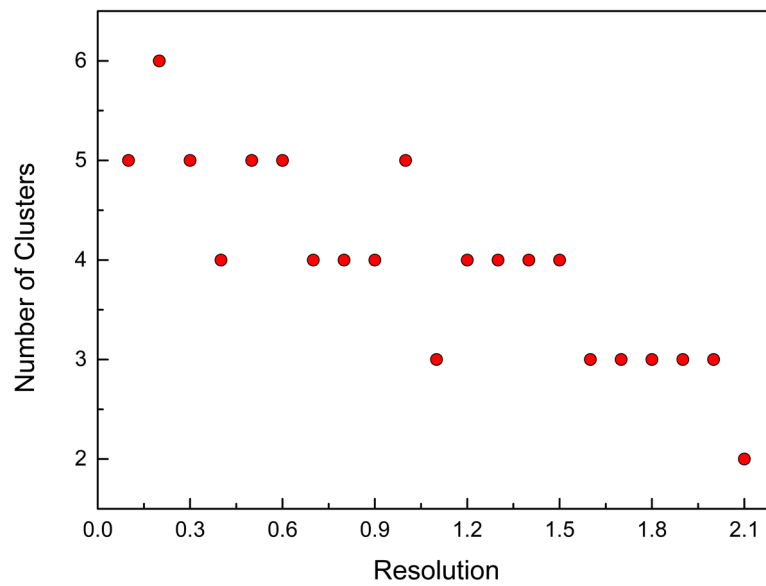


Figure 6. The resolution change had no explicit relation with number of clusters.

Modularity phenomena uses the strength of the connections between nodes. However, the N-KCP problem intends to place the knight which does not touch each other. Thus, after modularity is applied, the listed clusters show the list of cells that are the least likely to be in the same solution.

For the resolution 1.0, clusters are defined as follows: (1, 6) (2, 7) (3, 8) (4, 9) (5). In these groups, the nodes are mutually exclusive such as 1 and 6 cannot exist in the same solution. If we construct the possible solutions, there are three options (empty, 1, and 6) for the first step. There is a similar pattern for the following steps. All possible combinations are given in the appendix. In the appendix, 3-KCP solutions are highlighted which are all possible solutions.

The other clustering algorithms are compared with the modularity algorithm by means of 3-KCP solutions. In Figure 7, the clustered graphs are presented. In the figure, the nodes in the same color present the same clusters.

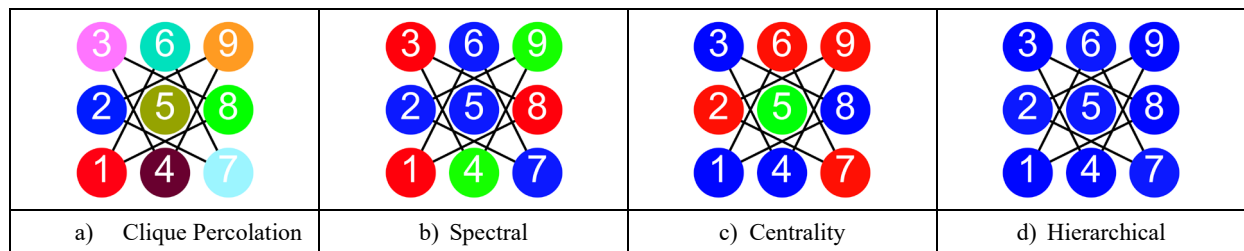


Figure 7. Graph clustering algorithms, namely Clique Percolation, Spectral, Centrality, and Hierarchical, are applied to 3-Knight graph. The same colors show the same cluster.

The Clique Percolation divided to 9 clusters, so this provides no extra information. The spectral clustering algorithm is merged node 5 in another cluster although, it has no common edge with the nodes. Thus, the clusters are not meaningful for 3-KCP solutions. The centrality algorithm is identified the cluster which are extracted by modularity algorithm for resolution 1.7. The hierarchical clustering methods extracted only one cluster contrary to Clique Percolation clustering, so no node could be in the same solution. Therefore, hierarchical clustering method provides no solution.

4. Conclusion

In this study, we have applied the unsupervised machine learning algorithms to 3x3 knight graph for clustering purpose. Modularity has superiority over Clique Percolation, Spectral, Centrality, and Hierarchical clustering algorithms by means of 3-KCP graph. The extracted clusters by modularity corresponds to all 3-

KCP solutions. Thus, the modularity covers the meaningful clusters by the other algorithms. In this study, the investigation results showed 1.0 resolution divides the knight graph in such a way which includes all solutions. On the other hand, the other algorithms provide wrong clusters or not valuable clusters. Only Centrality algorithm provides useful clusters which are already identified by modularity.

Based on the promising results, the modularity algorithm provides incomputable results. In the future studies, we purpose to extend our investigation to different nifty problems similar to 3-KCP.

Acknowledgments:

The authors declare no conflict of interest.

References

- [1] V. D. Blondel, J.-L. Guillaume, R. Lambiotte, E. J. J. o. s. m. t. Lefebvre, and experiment, "Fast unfolding of communities in large networks," vol. 2008, no. 10, p. P10008, 2008.
- [2] Y. Tian and M. Compere, "A Case Study on Visual-Inertial Odometry using Supervised, Semi-Supervised and Unsupervised Learning Methods," in *2019 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Virtual Reality (AIVR)*, 9-11 Dec. 2019 2019, pp. 203-2034, doi: 10.1109/AIVR46125.2019.00043.
- [3] H. Yan, P. Yu, and D. Long, "Study on Deep Unsupervised Learning Optimization Algorithm Based on Cloud Computing," in *2019 International Conference on Intelligent Transportation, Big Data & Smart City (ICITBS)*, 12-13 Jan. 2019 2019, pp. 679-681, doi: 10.1109/ICITBS.2019.00168.
- [4] M. S. Bartlett, J. R. Movellan, and T. J. Sejnowski, "Face recognition by independent component analysis," *IEEE Transactions on Neural Networks*, vol. 13, no. 6, pp. 1450-1464, 2002, doi: 10.1109/TNN.2002.804287.
- [5] M. A. Kabir and X. Luo, "Unsupervised Learning for Network Flow Based Anomaly Detection in the Era of Deep Learning," in *2020 IEEE Sixth International Conference on Big Data Computing Service and Applications (BigDataService)*, 3-6 Aug. 2020 2020, pp. 165-168, doi: 10.1109/BigDataService49289.2020.00032.
- [6] Q. Li, J. Zhao, and X. Zhu, "An Unsupervised Learning Algorithm for Intelligent Image Analysis," in *2006 9th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision*, 5-8 Dec. 2006 2006, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICARCV.2006.345232.
- [7] Y. Wang and Y. Xu, "Unsupervised Learning of Accurate Camera Pose and Depth From Video Sequences With Kalman Filter," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 32796-32804, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2903871.
- [8] Y. He, N. Sang, C. Gao, and J. Han, "Online Unsupervised Learning Classification of Pedestrian and Vehicle for Video Surveillance," *Chinese Journal of Electronics*, vol. 26, no. 1, pp. 145-151, 2017, doi: 10.1049/cje.2016.08.011.
- [9] C. Teng and Y. Chen, "Syndrome-Enabled Unsupervised Learning for Neural Network-Based Polar Decoder and Jointly Optimized Blind Equalizer," *IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems*, vol. 10, no. 2, pp. 177-188, 2020, doi: 10.1109/JETCAS.2020.2992593.
- [10] T. C. Clancy, A. Khawar, and T. R. Newman, "Robust Signal Classification Using Unsupervised Learning," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 10, no. 4, pp. 1289-1299, 2011, doi: 10.1109/TWC.2011.030311.101137.
- [11] D. Ying, Y. Yan, J. Dang, and F. K. Soong, "Voice Activity Detection Based on an Unsupervised Learning Framework," *IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, vol. 19, no. 8, pp. 2624-2633, 2011, doi: 10.1109/TASL.2011.2125953.
- [12] Y. Chang, X. Yuan, B. Li, D. Niyato, and N. Al-Dhahir, "A Joint Unsupervised Learning and Genetic Algorithm Approach for Topology Control in Energy-Efficient Ultra-Dense Wireless Sensor Networks," *IEEE Communications Letters*, vol. 22, no. 11, pp. 2370-2373, 2018, doi: 10.1109/LCOMM.2018.2870886.

- [13] A. Philip, "A Generalized Pseudo-Knight's Tour Algorithm for Encryption of an Image," *IEEE Potentials*, vol. 32, no. 6, pp. 10-16, 2013, doi: 10.1109/MPOT.2012.2219651.
- [14] J. Kumar and S. Nirmala, "Securing the contents of document images using knight moves and genetic approach," in *2015 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*, 10-13 Aug. 2015 2015, pp. 1091-1095, doi: 10.1109/ICACCI.2015.7275755.
- [15] J. Delei, B. Sen, and D. Wenming, "An Image Encryption Algorithm Based on Knight's Tour and Slip Encryption-Filter," in *2008 International Conference on Computer Science and Software Engineering*, 12-14 Dec. 2008 2008, vol. 1, pp. 251-255, doi: 10.1109/CSSE.2008.1142.
- [16] S. Bai, G. Zhu, and J. Huang, "An Intelligent Algorithm for the (1,2,2)-Generalized Knight's Tour Problem," in *2013 Ninth International Conference on Computational Intelligence and Security*, 14-15 Dec. 2013 2013, pp. 583-588, doi: 10.1109/CIS.2013.129.
- [17] H. Jian and B. Sen, "An Efficient Algorithm for the Generalized (1,k)-Knight's Tours Problem," in *2009 First International Workshop on Education Technology and Computer Science*, 7-8 March 2009 2009, vol. 1, pp. 697-701, doi: 10.1109/ETCS.2009.161.
- [18] S. Bai, X. Liao, X. Qu, and Y. Liu, "Generalized Knight's Tour Problem and Its Solutions Algorithm," in *2006 International Conference on Computational Intelligence and Security*, 3-6 Nov. 2006 2006, vol. 1, pp. 570-573, doi: 10.1109/ICCIAS.2006.294200.
- [19] D. C. Fisher, "On the $n \times n$ Knight Cover Problem," *Ars Comb.*, vol. 69, / 2003.
- [20] F. Rubin, "Improved Knight Coverings," *Ars Combinatoria*, vol. 69, / 2003.
- [21] F. Rubin, "Knight Covers for the 50x50 Chessboard," presented at the Mathfest 2004, Providence RI, 2004.
- [22] F. Rubin, "A Family of Efficient Knight Covering Patterns," *Journal of Recreational Mathematics*, Article vol. 33, no. 3, pp. 165-175, 2005.
- [23] F. Rubin, "An Improved Method for Finding Knight Covers," *Ars Combinatoria*, vol. 82, / 2007.
- [24] B. Lemaire, "Knights Covers on $N \times N$ Chessboards," *J. Recr. Math.*, vol. 31, pp. 87-99, 2003.
- [25] A. H. Jackson and R. P. Pargas, "Solutions to the $N \times N$ Knights Covering Problem," *Journal of Recreational Mathematics* vol. 23, pp. 255-267, 1991.
- [26] F. Wei, "Research on Knight Covering Based on Breadth First Search Algorithm," (in English), *Applied Mechanic and Materials*, vol. 686, pp. 377-380, 2014.
- [27] S. Güldal, M. Lipscomb, and M. M. Tanik, "Solving Knights Covering Problem: Backtracking, Permutation, Bipartite Graph, and Independent Set," presented at the Nineteenth Annual Early Career Technical Conference, Birmingham, Alabama USA, 2019.
- [28] S. Güldal, M. M. Tanik, and M. M. Lipscomb, "Solving Knights Covering Problem by a Hybrid Algorithm," presented at the IEEE SouthEastConn, Huntsville, Alabama, April 11 - 14 2019, 2019.
- [29] S. Güldal, "Connectives of Knights Covering Problem By Girvan-Newman Clustering," presented at the SDPS 2019 Workshop, Madrid, Spain, November 25-26 2019, 2019.
- [30] U. Brandes *et al.*, "On Modularity Clustering," *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, vol. 20, no. 2, pp. 172-188, 2008, doi: 10.1109/TKDE.2007.190689.
- [31] R. Rotta and A. Noack, "Multilevel local search algorithms for modularity clustering," vol. 16, p. Article 2.3, 2011, doi: 10.1145/1963190.1970376 %J J. Exp. Algorithmics.
- [32] M. Bastian, S. Heymann, and M. Jacomy, "Gephi: an open source software for exploring and manipulating networks," in *International AAAI Conference on Weblogs and Social Media*, 2009.
- [33] R. Lambiotte, J.-C. Delvenne, and M. J. a. p. a. Barahona, "Laplacian dynamics and multiscale modular structure in networks," 2008.

APPENDIX

Table 1. Empty cells mean no knight is placed from the particular cluster. For resolution 1.0: (1, 6) (2, 7) (3, 8) (4, 9) (5)

First cluster	Second cluster	Third cluster	Fourth cluster	Fifth cluster
				5
			4	
			4	5
			9	
			9	5
	3			
	3			5
	3	4		
	3	4	5	
	3	9		
	3	9	5	
	8			
	8			5
	8	4		
	8	4	5	
	8	9		
	8	9	5	
2				
2				5
2		4		
2		4	5	
2		9		
2		9	5	
2	3			
2	3			5
2	3	4		
2	3	4	5	
2	3	9		
2	3	9	5	
2	8			
2	8			5

	2	8	4	
	2	8	4	5
	2	8	9	
	2	8	9	5
	7			
	7			5
	7		4	
	7		4	5
	7		9	
	7		9	5
	7	3		
	7	3		5
	7	3	4	
	7	3	4	5
	7	3	9	
	7	3	9	5
	7	8		
	7	8		5
	7	8	4	
	7	8	4	5
	7	8	9	
	7	8	9	5
1				
1				5
1			4	
1			4	5
1			9	
1			9	5
1		3		
1		3		5
1		3	4	
1		3	4	5
1		3	9	
1		3	9	5
1		8		
1		8		5

1		8	4	
1		8	4	5
1		8	9	
1		8	9	5
1	2			
1	2			5
1	2		4	
1	2		4	5
1	2		9	
1	2		9	5
1	2	3		
1	2	3		5
1	2	3	4	
1	2	3	4	5
1	2	3	9	
1	2	3	9	5
1	2	3	9	5
1	2	8		
1	2	8		5
1	2	8	4	
1	2	8	4	5
1	2	8	9	
1	2	8	9	5
1	7			
1	7			5
1	7		4	
1	7		4	5
1	7		9	
1	7		9	5
1	7	3		
1	7	3		5
1	7	3	4	
1	7	3	4	5
1	7	3	9	
1	7	3	9	5
1	7	8		
1	7	8		5

1	7	8	4	
1	7	8	4	5
1	7	8	9	
1	7	8	9	5
6				
6				5
6			4	
6			4	5
6			9	
6			9	5
6	3			
6	3			5
6	3	4		
6	3	4	5	
6	3	9		
6	3	9	5	
6	8			
6	8			5
6	8	4		
6	8	4	5	
6	8	9		
6	8	9	5	
6	2			
6	2			5
6	2		4	
6	2		4	5
6	2		9	
6	2		9	5
6	2	3		
6	2	3		5
6	2	3	4	
6	2	3	4	5
6	2	3	9	
6	2	3	9	5
6	2	8		
6	2	8		5

6	2	8	4	
6	2	8	4	5
6	2	8	9	
6	2	8	9	5
6	7			
6	7			5
6	7		4	
6	7		4	5
6	7		9	
6	7		9	5
6	7	3		
6	7	3		5
6	7	3	4	
6	7	3	4	5
6	7	3	9	
6	7	3	9	5
6	7	8		
6	7	8		5
6	7	8	4	
6	7	8	4	5
6	7	8	9	
6	7	8	9	5

FADIL VE SALBAŞ YÖRESİ (ADANA/TÜRKİYE) SALBAŞ TÜFİT VE MEMİŞLİ KUMTAŞI İSTİFİNİN MİKROPALEONTOLOJİK VE PALEOORTAMSAL ÖZELLİKLERİ

Ümit ŞAFAK^{1*}, Ahmet Can AKINCI², Hande SONSUN³

¹⁻²⁻³Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Sarıçam, Adana, Türkiye

Geliş tarihi: 22.03.2021 Kabul tarihi: 14.06.2021

ÖZET

Bu çalışmada, Adana Baseninde yüzeleyen geç Miyosen çökellerindeki önemli bir tüfit çökelimi olarak görülen, Fadıl (Kuzey Adana) bölgesindeki volkano-sedimanter istif (Kuzgun Formasyonu Salbaş Tüfit Üyesi) ile hemen üzerine uyumlu olarak gelen Memişli Üyesi kırıntılı istifi paleontolojik olarak incelenmiştir. İstifte *Cyprideis seminulum*, *C. anatolica*, *Cyprideis torosa*, *Cyprideis sohni*, *Cyprideis pannonica* gibi ostrakodlar, alglerden *Chara* sp., ve balık Otoliti, ayrıca Fadıl yöresinde mikro gastropodlardan *Pirenella picta* ile *Terebralia bidentata* tanımlanmıştır. Memişli kumtaşı üyesinde ise *Cytherella glypta*, *Cyprideis anatolica*, *Miocyprideis sarmatica*, *Cyamocytheridea meniscus*, *Loxoconcha* sp., *Xestoleberis communis*, *Xestoleberis margaritae* gibi ostrakod cins ve türleri ayırt edilmiştir. Bu ostrakodlar Salbaş Tüfit Üyesi'nde lagün ortamını, Memişli Üyesi'nde genellikle sığ denizel (epineritik) ortamı karakterize eden cins ve türlerden oluştuğu sonucuna varılmıştır. Çalışmada tanımlanan bu türler Antalya-Mut-Adana Neojen havzalarında ve Avrupadaki benzer havzalarda yapılmış çalışmalarda lagün ve sığ deniz nitelikli geç Miyosen ostrakod ve mikro gastropod türleriyle karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Adana Havzası, Salbaş Tüfit, Memişli Kumtaşı Ostrakod, Paleoortam

OSTRACOD FAUNA AND PALEOENVIRONMENTAL PROPERTIES OF THE TUFFITES AND MEMİŞLİ MEMBER SUCCESSIONS IN THE SALBAŞ AND FADIL REGIONS (ADANA/TURKEY)

ABSTRACT

In this study, the volcano-sedimentary sequence (Salbaş Tuffite Member of Kuzgun Formation) cropped in the Fadıl (Northern Adana) region, which is seen as an important tuffite deposit in the late Miocene sediments exposed in the Adana Basin and overlying clastic sequence of the Memişli Member was studied paleontologically. In this sequence, ostracods such as *Cyprideis seminulum*, *C. anatolica*, *Cyprideis torosa*, *Cyprideis sohni*, *Cyprideis pannonica*, an alga (*Chara* sp.) and a fish otolith distinguished. Micro-gastropoda genera and species such as *Cytherella glypta*, *Cyprideis anatolica*, *Miocyprideis sarmatica*, *Cyamocytheridea meniscus*, *Loxoconcha* sp., *Xestoleberis communis*, *Xestoleberis margaritae* were distinguished in the Memişli member. We have concluded that these ostracods genera and species characterize a lagoon environment for the Tuffite Member and the shallow marine (epineritic) environment in the Memişli Member. These identified species also detailly compared with lagoon and shallow-sea late Miocene ostracod and micro gastropoda species in other studies conducted in Antalya-Mut-Adana Neogene basins and similar basins in Europa.

Keywords: Adana Basin, Salbaş Tuffite, Memişli sandstone, ostracoda, paleoenvironment

1. Giriş

Araştırma alanı olan Salbaş ve Fadıl (KD Adana) (Şekil 1) ve civarında çalışmaya konu olan tüfitli seviyeleri içeren birimlerde çok sayıda petrol imkanları odaklı [1,2], genel jeolojik-stratigrafik [3-7] ve

* e-posta¹: usafak@cu.edu.tr ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-4268-8750>

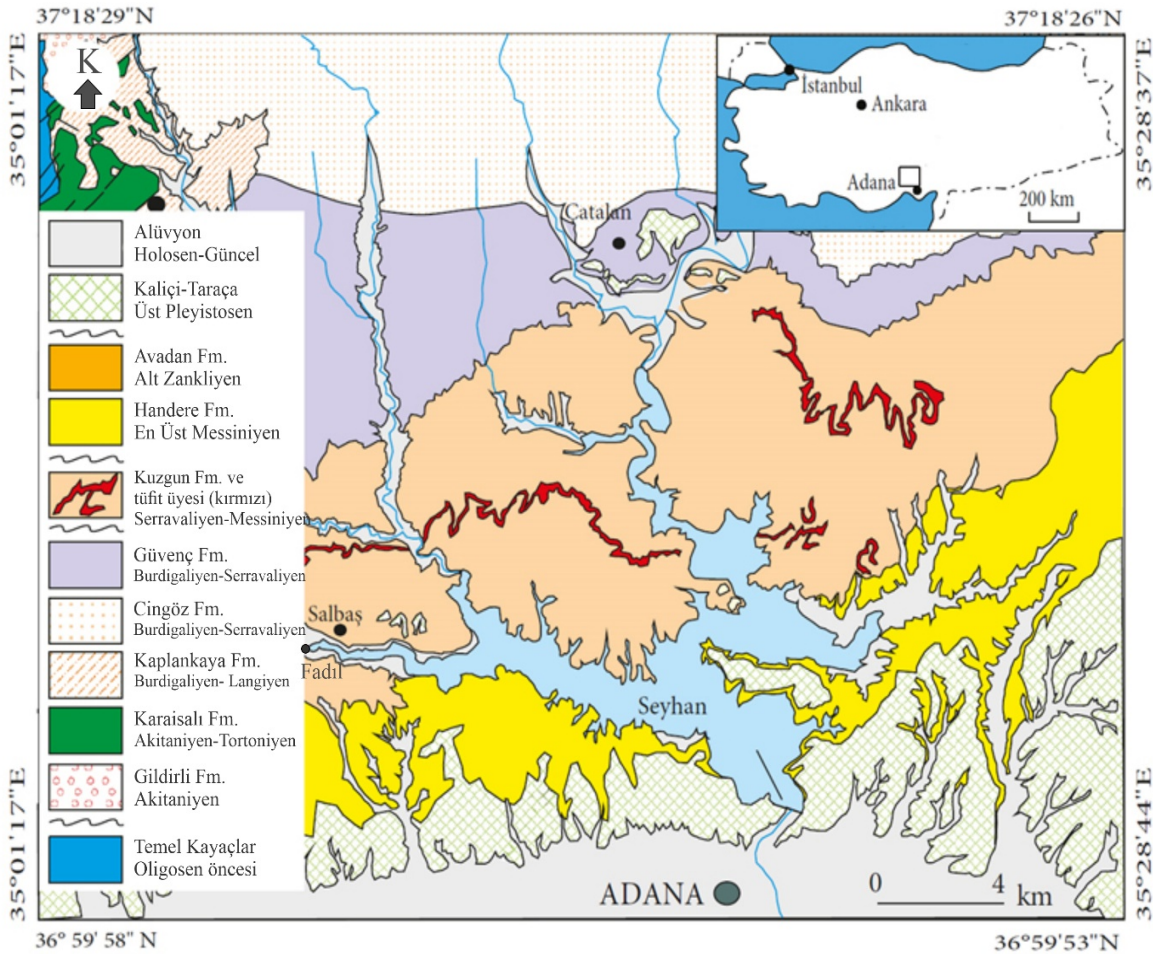
e-posta²: acakinci@cu.edu.tr ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-6608-6607>

e-posta³: sonsunhande@gmail.com ORCID ID <https://orcid.org/0000-0003-4784-5070>

paleontolojik [8-15] çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmacılardan Schmidt [1], Yetiş ve Demirkol [4], Yetiş ve ark. [5] Yetiş [6], Ünlügenç [7] tarafından Adana baseni genel stratigrafisi ve jeolojisi ayrıntılı olarak ele alınmıştır. İlker [2] tarafından Adana Baseni'nde ayrıntılı genel jeoloji çalışması yanında havzanın petrol olanakları da çalışılmıştır. Yörede yapılan paleontolojik araştırmalar ise; Tanar [3]'de Karaisalı, Kuzgun ve Memişli formasyonlarının molluska faunası; Şafak ve Nazik [8]'de Eshab-ı Kehf Neojen istifi ostrakod-planktonik foraminifer faunasına dayalı olarak araştırılmıştır. Şafak ve ark. [9] da İncirlik yöresindeki geç Miyosen resifi; Korkmaz [10], Şafak ve Heybeli [13]'de Huzurkent civarı Neojen istifi; Şafak [15]'de Berdan ve Kazanlı sondajlarındaki stratigrafik konum ostrakodlara yönelik olarak incelenmiştir. Öğrünç ve Nazik [11], Darbaş ve Nazik [14] tarafından Yenice Yöresi Neojen istifi ostrakod faunası ile, Avşar ve ark. [12]'de Kuzgun Formasyonu mikrofaunası ostrakod-bentik foraminifer topluluğu ile ortaya konulmuştur.

Şafak [15] tarafından Tarsus - Mersin yolu üzerindeki Berdan ve Kazanlı bölgesinde farklı 2 sondaj ile kesilen Kuzgun Formasyonu'na ait kil, marn, kumtaşı, silttaşı ve killi kireçtaşlarında yapılan mikropaleontolojik değerlendirme sonucunda epineritik koşullarla başlayan ortamsal özelliğın istifin üst seviyelerine doğru acısı özelliğine geçtiğı saptanmıştır. Yazar, Berdan bölgesinde Kuzgun Formasyonu alt seviyesinde neritik özellikli ostrakod cinsleri yanında planktonik foraminifer faunası tespit etmiş olup birimin orta seviyelerde ortamsal olarak sığlaştığını ve yer yer acısı koşullarına geçiş gösterdiğini belirtmiştir.

Öğrünç ve ark. [16] ve Öğrünç [17] tarafından Fadıl yöresinde yapılan çalışmalarda istiflerdeki silttaşı ve çamurtaşları içerisinde gastropod, bitki parçacıkları, lamelli kavkılarının bulunduğundan söz edilmiştir. Bu çalışmanın örneklerinde lagüner ostrakod cinsleri yanısıra bentik foraminiferlerden sadece 1 cins ve tür, Chara, mollusk faunasından 2 mikro gastropod türü bulunmuş ve tanımlanmıştır.



Şekil 1. İnceleme alanının jeolojik haritası (Faranda ve ark. [18]'dan Türkçe düzenlenmiştir.)

Avşar ve ark. [12] tarafından Kuzgun Formasyonu'nda yapılan çalışmada formasyon içinde, havzadaki tüfit seviyelerinin Tortoniyen'de ortam koşullarını nasıl etkilediği araştırılmıştır. Yazarlar tanımladıkları bentik foraminifer ve ostrakod türleri ile tüfitli seviyelerde bazı tür ve cinslerin azalıp veya yok olurken, tüfitlerin altındaki ve üstündeki birimlerde tür ve birey sayısı bakımından çeşitlenmeler ve benzerlikler görüldüğünü vurgulamışlardır. Ayrıca bentik foraminifer ve ostrakod topluluklarına göre; tüfit seviyelerinin havzanın batı kısmında sığ denizel, doğusunda ise lagün koşullarında depolandığı belirtmişlerdir. Bu çalışmada ise sadece bu lagüner koşulların gözlemlendiği tüfit yatağı ile üzerine gelen sığ denizel nitelikli Memişli kumtaşındaki ostrakod ve yanısıra mikro gastropod faunası incelenmiş ve paleo-ortamsal olarak yorumlanmıştır. Tüfitli seviyelerde yer alan bazı mikro gastropod cins ve türleri de ilk kez bu çalışmada saptanmıştır. İstiflerdeki ostrakod cins ve türleri yanısıra saptanan bentik foraminifer cinsi ile otolit bulgusu da paleoortamsal yorumu destek sağlamıştır.

2. Materyal ve Metod

İnceleme Adana ilinin yaklaşık 20 km kuzeydoğusunda yer alan Fadıl ve Salbaş (Karaisalı/Adana) yörelerinde, özellikle tüfitli istifler bünyesindeki ostrakod tür ve cinslerine dayalı yaş ve ortam belirleme amacı ile yapılmıştır. Bu amaçla, Fadıl yöresindeki yaklaşık 15 m ve 11 m kalınlıklı 2 istiftten şeritmetre-pusula tekniği ile kesit ölçümleri yapılarak, toplam 14 adet yıkama örneği, Salbaş yöresindeki 8 m kalınlıklı istiftten ise 8 adet kırıntılı örnek alınarak laboratuvarında yıkama işlemine tabi tutulmuştur. Örnekler tazyikli su ile 60, 120, 230 meşlik yıkama eleklerinde yıkanmıştır. Yıkanan örnek önce etüvde kurutulmuş, sonra belirtilen elek numaralarına göre ayrı ayrı torbalara konulmuştur. Yıkanan örneklerin ayıklanması sonrasında ostrakod cins ve türleri ile *Chara* sp. alg cinsi tayin edilmiştir. Tanımlanan cins ve türler sayılmış, ostrakodların her bir kesit içerisindeki türlerin örneklerde sayılan miktarları ölçü olarak kabul edilmiş skalaya bağlı kalarak tabloya yerleştirilmiştir. Bu dağılım tablosunda ostrakodların frekansını açıklayan simgeler kullanılmıştır. Çok nadir (1-2 kapak) +, nadir (3-5 kapak) 0 ve, yaygın (6-15 kapak) □ frekanslar gibi sembollerle gösterilmiştir. Bu verilerin hazırlanmasında Sissingh [19] çalışmasından geniş ölçüde yararlanılmıştır. Araştırmaya konu olan ostrakodların sınıflamasında Hartmann ve Puri [20] sistematigi kullanılmıştır. Levhalar, çalışmada tanımlanan ostrakod tür ve cinslerinin, ayrıca alglerden *Chara* sp. ve otolit SEM görüntüleri içerisinde seçilerek hazırlanmıştır. Mikropaleontolojik incelemeler sonucunda inceleme alanının paleoortam yorumunda ostrakodlar için Morkhoven [21], Doruk [22], Bassiouni [23], Yassini [24], Stambolidis [25], Athersuch ve ark. [26], Meisch [27]; bentik foraminifer tanımları için Meriç [28], Şafak ve ark. [29, 30], Avşar ve ark. [12] çalışmalarından yararlanılmıştır. Ayrıca mikro gastropod tayin ve determinasyonları için Wenz [31] literatürü kullanılmıştır.

3. Stratigrafi

Adana havzası, Doğu Toros kuşağının en batı kesimindeki Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı bir temel üzerinde yer almaktadır. Temel birimler allokton konumlu naplar halinde olup, ofiyolit (Faraşa Ofiyoliti) ve melanj (Kızıldağ Melanjı) birimlerini içermektedir.

Miyosen yaşlı havza çökelleri altta bir taban konglomerası niteliğindeki Gildirli Formasyonu ile başlamaktadır. Birim bölgede paleotopoğrafik çukurları dolduracak şekilde çökelmiş olup üzerine transgresif olarak sığ deniz, resif ve çevresini temsil eden karbonat ve kırıntılı hakim Kaplankaya ve Karaisalı formasyonları gelir. Bunların üzerinde uyumlu olarak, havzanın daha derin bölgelerinde (daha güneyde ve doğu kesimlerde) ve denizaltı yelpaze ortamında çökelmiş alt-orta Miyosen yaşındaki Cingöz Formasyonu ve Güvenç Formasyonu yer alır (Şekil 2) [7].

Tüfit seviyesinin de içinde bulunduğu Tortoniyen [15] yaşlı Kuzgun Formasyonu, Güvenç Formasyonu üzerine düşük açılı bir diskordans ile gelir [7]. Birim, sahil, plaj ve menderesli nehir çökellerinden oluşan seviyeler ile başlamakta olup, bol miktarda ostrea fosil kavkuları içermektedir. İçerdiği çakıltaşı ve kumtaşı litolojileri ile daha ince taneli Güvenç formasyonu üzerinde belirgin bir morfoloji ile kendini belli eden bu alt seviye Kuzgun üyesi olarak adlandırılmaktadır. Bu seviyenin

üzerinde sırası ile çalışmaya konu olan Salbaş Tüfit Üyesi ve Memişli Üyesi gelir. Messiniyen-Pliyosen yaşlı kumtaşı, silttaşı ve marn, jips gibi karasal çökellerden oluşan Handere Formasyonu ise Kuzgun Formasyonu üzerinde düşük açılı bir diskordans ile yer almakta olup Kuvaterner yaşlı Taraça-Kaliçi ve Alüvyonlar ile uyumsuz olarak örtülür.

YAŞ		FORMASYON	LİTOLOJİ
K U V A T E R N E R	P L I Y O S E N	Alüvyon	blok, çakıl, kum, silt
		Taraça-Kaliçi	konglomera - kaliçi blok, konglomera, çakıllı kumtaşı
		HANDERE FORMASYONU	marn ve çamurtaşı
		Gökkuyu Jips üyesi	kumtaşı, silttaşı, jips
		Memişli üyesi	
		Salbaş Tüfit üyesi	silttaşı, tüf, tüfit
		Kuzgun üyesi	konglomera, kumtaşı, çamurtaşı
		GÜVENÇ FORMASYONU	(Düşük Açılı) marn-şeyl, silttaşı, kumtaşı
		CİNGÖZ FORMASYONU	kumtaşı, şeyl konglomera, çakıllı kumtaşı kireçtaşı
		KARAIŞALI FORMASYONU	silttaşı, çamurtaşı ve şeyl-marn konglomera, çakıllı kumtaşı
M I Y O S E N	A K I T A N I Y E N	KAPLANKAYA FORMASYONU	
		GİLDİRLİ FORMASYONU	silttaşı ve çamurtaşı konglomera, kumtaşı
		KARSANTI FORMASYONU	kömür-jips, marn, şeyl konglomera, kumtaşı, silttaşı
S E N O Z O Y I K	T O R T O N I Y E N		

Şekil 2. Adana Havzasının genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesiti [Ünlügenç, [7]'den düzenlenmiştir].

4. Ölçülü Stratigrafi Kesitler

Çalışılan istif tüfit ve kumtaşı çökellerini barındıran Miyosen yaşlı Adana havza çökellerinin genç birimlerinden Kuzgun formasyonu içinde yer almaktadır. 3 farklı üyeden oluşan Kuzgun Formasyonunda, en altta yer alan Kuzgun üyesi üzerinde çalışılan Salbaş tüfit üyesi bulunmaktadır. Çamurtaşı, kireçtaşı, marn gibi litolojiler içeren bu volkanoklastik egemen seviye, birimin en üstünde yer alan Memişli üyesi ile alttaki Kuzgun üyesi arasında bir anahtar düzey niteliğindedir [7]. Bu seviye yukarı doğru güneyde delta çökelleri ile temsil edilen Memişli üyesine geçmektedir.

Salbaş ve Fadıl civarında iyi yüzeylemeler veren tüfitli istif 2-3 metreden yaklaşık 15 metreye kadar değişen kalınlıklar sunmakta olup bünyesinde tüfit, karbonat ve marnlı seviyeler barındırmaktadır. Bu volkanoklastik egemen seviye içerisinde farklı tüf/tüfit katmanları tespit edilmiş olup, arazide lup

yardımı ile tespit edilen ve terrijen kırıntıca zengin olan tüflü seviyeler tüfit olarak değerlendirilmiştir. Tüfitli seviye altında yer alan Kuzgun üyesi en altta erozyonel kanallı konglomeratik seviyelerle ara katmanlı kumtaşı litolojisi ile başlayıp yukarı doğru az oranda şeyl bantları da içeren kumtaşı egemen ince taneli seviyelere doğru kademeli geçiş sunmaktadır. Üye, litolojik özellikleri, bünyesindeki ostrea kavkuları ve içerdiği kanal dolguları ile daha çok menderesli akarsu ortam şartlarını işaret etmektedir [7]. Tüfitli Salbaş Üyesi üzerinde yer alan Memişli üyesi genellikle kumtaşı içermektedir. Memişli üyesi kumtaşı yanısıra silttaşı, şeyl gibi ince taneli kırıntılılar ile özellikle alt seviyelerinde yersel çapraz tabakalı konglomera seviyeleri de içermektedir. Üye, özellikle yukarı doğru kabalaşan litolojisi ile delta-sığ deniz ortam şartlarını yansıtmaktadır [7]. Bu çalışmada özellikle Salbaş ve Fadıl yöresindeki volkanoklastik seviye ile hemen üzerine gelen Memişli kumtaşı istifinde belirlenen ostrakod ve mikro gastropod faunasına odaklanılmıştır.

4.1. Fadıl-1 Ölçülü Kesiti

Toplam 15 m kalınlıklı Fadıl 1 kesitinde (UTM 685887 D/ 4107852 K) (Şekil 3,4) *Cyprideis anatolica* 1 ve 4 m'de 1 ve 2 no'lu örneklerdeki çamurtaşları içinde çok nadir 7, 10 13 m'lerde 3, 4 ve 6 no'lu marnlı seviyelerden alınan örneklerde yaygın olarak gözlenmiştir. *Cyprideis seminulum* 1 ve 4 ve 12 ve 6 m'lerde 1, 2 ve 6 no'lu örneklerdeki çamurtaşları içinde çok nadir, 7, 10, 15 m'lerde ve 3, 4 ve 7 no'lu örneklerdeki marnlı seviyelerde nadir olarak gözlenmiştir. *Cyprideis torosa* 1, 4, 7,11 ve 12 m'lerde ve 1, 2, 3, 5 ve 6 no'lu örneklerdeki marnlı seviyelerde nadir, 10 ve 15 m'lerde marnlı seviyelerden alınan 4 ve 7 no'lu örneklerde yaygın olarak gözlenmiştir.

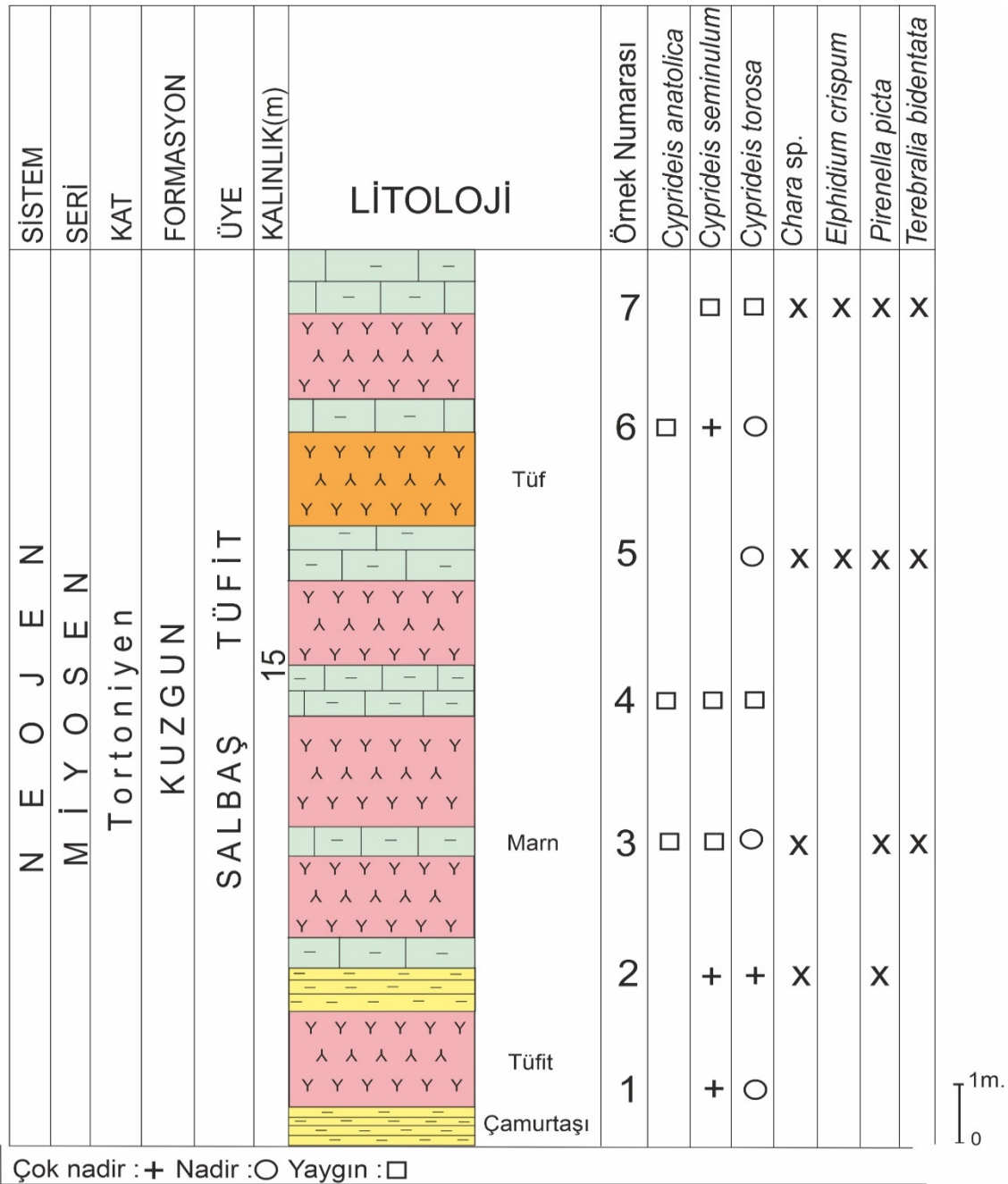
(Alg) *Chara* sp. istifte 7,11,12 ve 15. mlerde 3, 5 ve 7 no'lu örneklerdeki marnlı seviyelerde bulunmuştur. (Bentik foraminifer) *Elphidium crispum* 11 ve 15. mlerde 5 ve 7 no'lu örneklerdeki marnlı seviyelerde saptanmıştır. Mikro gastropod türlerinden *Pirenella picta* ve *Terebralia bidentata* 7, 11, 15 m'lerde 3, 5, 7 no'lu örneklerde bol olarak bulunmuştur.



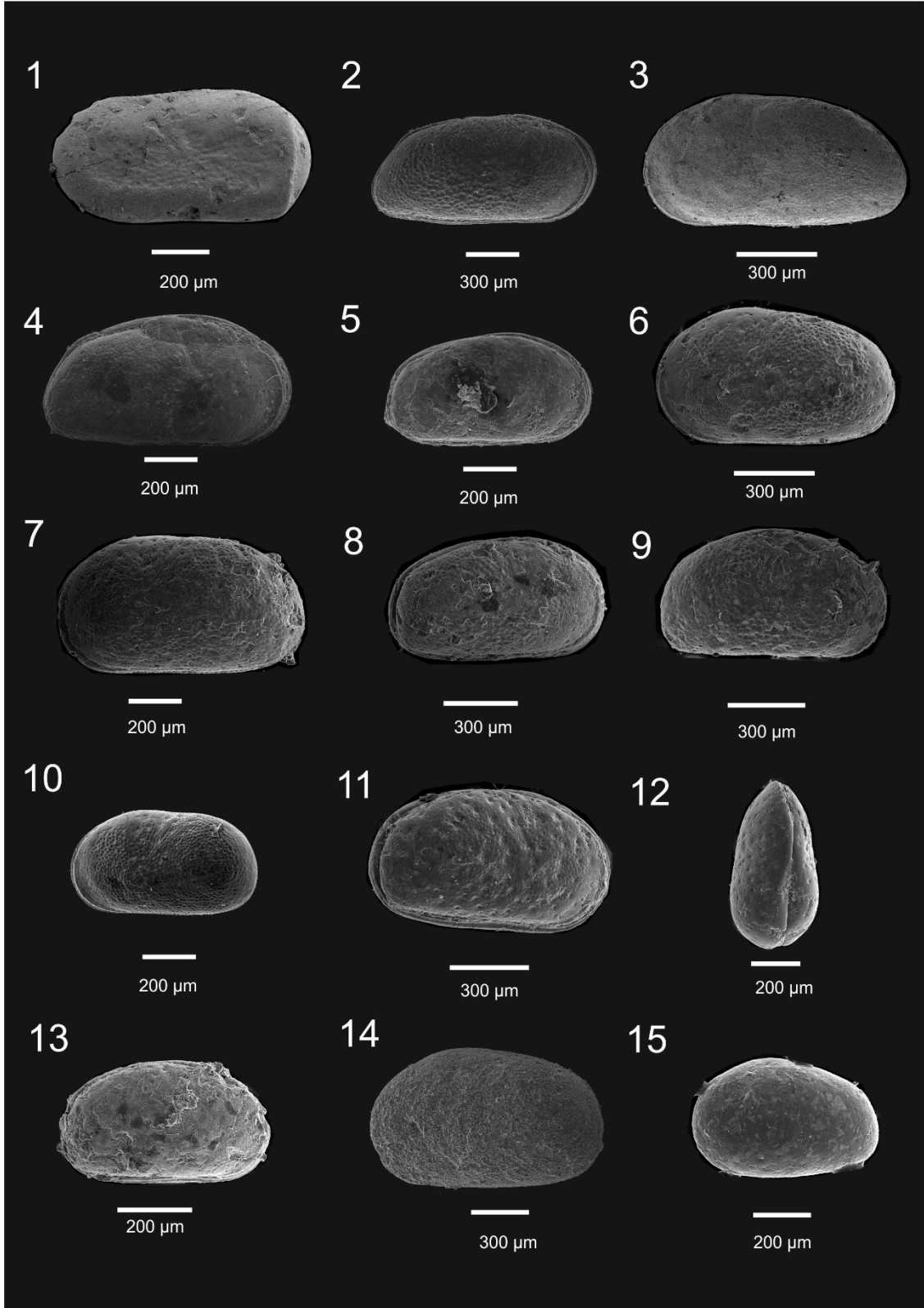
Şekil 3. Fadıl bölgesinde çalışılan tüfitli istifin (Fadıl-1 ÖSK) arazideki görünümü

4.2. Fadıl-2 Ölçülü Kesiti

Fadıl yöresinde çalışılan toplam 11 m kalınlıklı kesitten (Şekil 5) (UTM 683897 D/ 4108885 K) alınan 7 örnekten 1 ve 2 no'lu örneklerde fosil bulunmamaktadır. *Cyprideis anatolica*, 3 ve 4 no'lu örneklerdeki 1 ve 3. m'lerdeki çamurtaşları içinde yaygın, 10 m'de kumlu killi kireçtaşı seviyelerinde nadir olarak gözlenmiştir. *Cyprideis seminulum* 3, 5, 6 ve 7 no'lu örneklerde, 1, 5, 8 ve 10 m'lerde, çamurtaşı ve kumlu-killi kireçtaşları içerisinde yaygın, 3 m'de, 4 no'lu örnekte nadir olarak gözlenmiştir. *Cyprideis torosa* 6 ve 10 m'lerdeki 5 ve 7 no'lu örneklerdeki şeyl ve kumlu-killi kireçtaşı seviyelerinde yaygın, 8 m'de, 6 no'lu örnekte çok nadir olarak gözlenmiştir. *Cyprideis pannonica* 6 ve 10 m'lerdeki 5 ve 7 no'lu örneklerde şeyl ve killi kireçtaşları içerisinde nadir olarak bulunmuştur.

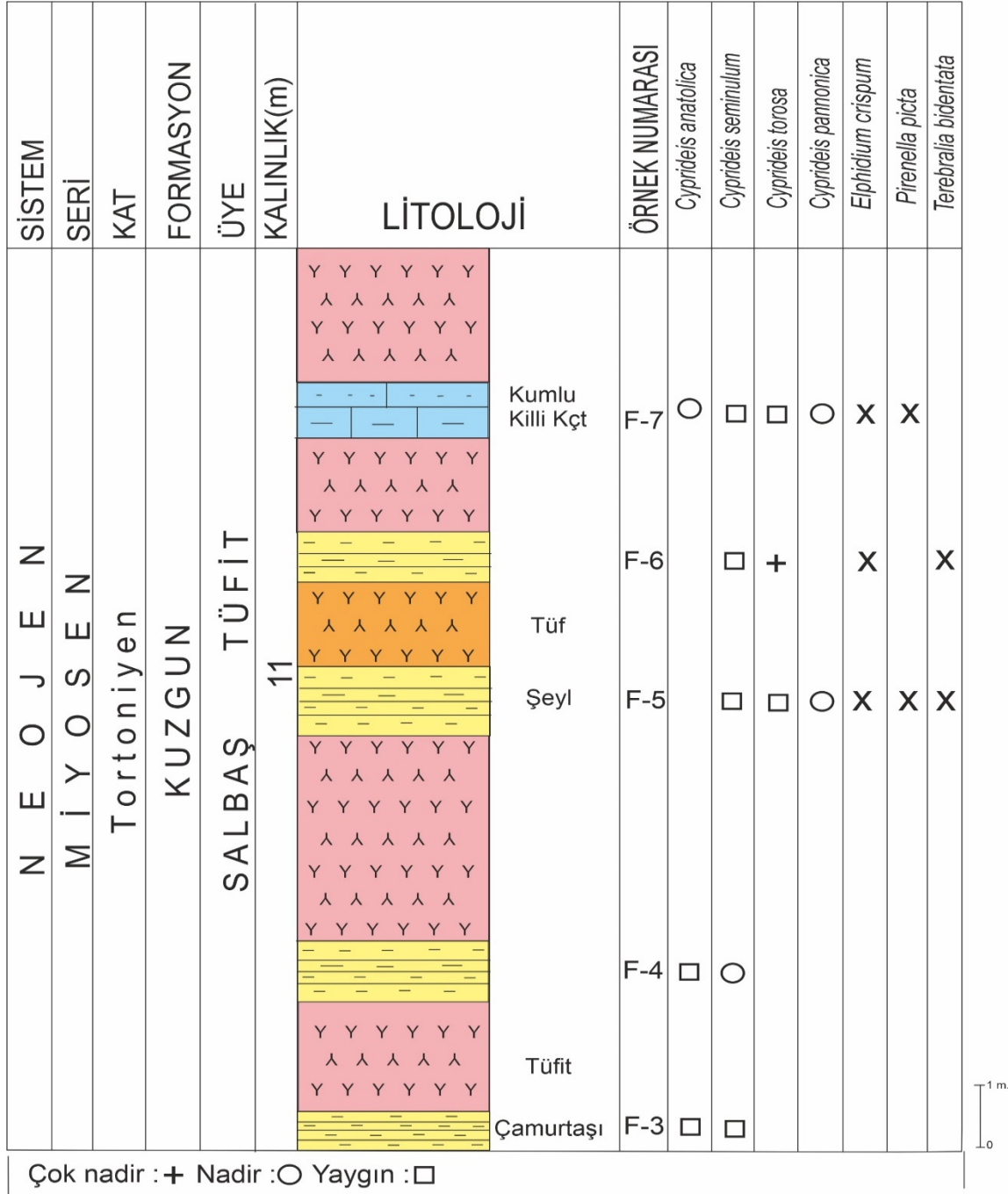


Şekil 4. Fadıl-1 ölçülü kesiti ve fosil (ostrakod, bentik foraminifer, karofit ve gastropod) dağılımı.



Levha 1. Şekil 1. *Cytherella glypta* Doruk Kabuk, sağ dış görünüm, Salbaş Ölçülü Kesiti, 8 no'lu örnek; Şekil 2-3. *Cyprideis sohni* (Bassiouni), 2. Kabuk, sağ dış görünüm, Salbaş Ölçülü Kesiti, 2 no'lu örnek, 3. Sol kapak, dış görünüm, Salbaş Ölçülü Kesiti, 2 no'lu örnek; Şekil 4-9. *Cyprideis torosa* (Jones), 4. Kabuk, sağ dış görünüm, Salbaş Ölçülü Kesiti, 3 no'lu örnek, 5. Kabuk, sağ dış görünüm, Salbaş Ölçülü Kesiti, 5 no'lu örnek, 6. Sol kapak, dıştan görünüm, *ADYU Mühendislik Bilimleri Dergisi 8 (2021) 179-195*

Fadıl -1 Ölçülü Kesiti, 7 no'lu örnek, 7. Kabuk, sağ dış görünüm, Fadıl -1 Ölçülü Kesiti, 4 no'lu örnek, 8. Kabuk, sağ dış görünüm, Fadıl -2 Ölçülü Kesiti, 5 no'lu örnek, 9. Kabuk, sağ dış görünüm, Fadıl -2 Ölçülü Kesiti, 5 no'lu örnek; Şekil 10-12. *Cyprideis seminulum* (Reuss), 10. Kabuk, sağ dış görünüm, Salbaş Ölçülü Kesiti, 2 no'lu örnek, 11. Kabuk, sağ dış görünüm, Fadıl -2 Ölçülü Kesiti, 7 no'lu örnek, 12. Kabuk, sırttan görünüm, Fadıl -2 Ölçülü Kesiti 7 no'lu örnek; Şekil 13-14. *Cyprideis pannonica* (Mehes), 13. Kabuk, sağ dış görünüm, Fadıl -2 Ölçülü Kesiti, 7 no'lu örnek, 14. Sol kapak, dış görünüm, Fadıl -2 Ölçülü Kesiti, 5 no'lu örnek; Şekil 15. *Cyprideis anatolica* (Bassiouni), 15. Kabuk, sol yan görünüm, Fadıl -2 Ölçülü Kesiti, 4 no'lu örnek



Şekil 5. Fadıl-2 ölçülü kesiti ve fosil (ostrakod, bentik foraminifer, karofit ve gastropod) dağılımı.

4.3. Salbaş Ölçülü Kesiti

Salbaş ölçülü kesiti (UTM 687626 D/ 4110212 K) (Şekil 6) toplam 8 m kalınlığında, bol mikrofossil içeren, Kuzgun Formasyonu'nun Salbaş Tüfit Üyesi ve Memişli Kumtaşı Üyesi'nden oluşmaktadır. Kesitten 8 örnek alınmış olup, 1 m'deki yıkama örneklerinden çamurtaşlarında *Cyprideis anatolica*, *Cyprideis torosa* yaygın, *Cyprideis pannonica* nadir olarak yer almaktadır. 2 m'deki 2 no'lu çamurtaşında *Cyprideis torosa* yaygın, *Cyprideis anatolica* ve *Cyprideis seminulum* nadir, *Cyprideis sohni* yaygın olarak gözlenmektedir. 3-4 m'de çamurtaşları içerisinde *Cyprideis torosa* nadir olarak, bentik foraminiferlerden *Elphidium crispum* sayıca az oranda bulunmuştur. Kesitteki 4, 5, 6 m'lerdeki silttaşı ve şeyl birimleri içerisinde yaygın olarak *Cyprideis torosa* tanımlanırken, *Cyprideis pannonica* çok nadir, *Cyprideis anatolica* yaygın olarak bulunmaktadır. 7 ve 8 m'lerde Memişli Üyesi'nin silttaşı ve kumtaşı bantları görülmektedir. Memişli Üyesine ait 7 m'deki silttaşları içerisinde *Miocyprideis sarmatica*, *Cyamocytheridea meniscus* yaygın olarak, *Cyprideis anatolica* çok nadir olarak gözlenirken *Elphidium crispum* ve *Chara* sp. sayıca fazla (8-10) miktarda bulunmaktadır. İstifin üst seviyesini oluşturan 8 m'deki kumtaşı seviyesinde *Cytherella glypta*, *Miocyprideis sarmatica*, *Cyamocytheridea meniscus*, *Xestoleberis communis*, *Xestoleberis margaritea* yaygın olarak, *Loxoconcha* sp. çok nadir, *Elphidium crispum* ve *Chara* sp. az sayıda yer almaktadır (Levha 1, 2).

5. Kronostratigrafi

İncelenen istiflerde gözlenen ostrakod türlerinden *Cytherella glypta* Adana ve Antakya Havzası geç Miyosen ve Serravaliyen [32, 33], Adana Havzası (Yenice-Tarsus, Salbaş-İmamoğlu, Huzurkent - Tarsus)'nda Tortoniyen, Pliyosen [34-36] İncirlik-Adana civarında Serravaliyen-Messiniyen [37] Karaman yöresinde geç Miyosen'de [38]; Kuzey Adana ve Misis: geç Miyosen-Pliyosen [39] gözlenmektedir (Çizelge 1).

Cyprideis anatolica, Türkiye'de Doğu Akdeniz kuzeyi ve Kuzey Anadolu'da geç Pliyosen'de [23]; Antakya'da Serravaliyen-Pliyosen'de [33], Bakırköy Havzası ve Yedikule'de, Malatya'da geç Miyosen [40-42]; İstanbul batısı, Batı Bakırköy'de geç Miyosen ve Pliyosen'de [29, 30]; *Cyprideis seminulum* Yugoslavya'da (Karadağ Cumhuriyeti), geç Ponsiyen'de [43, 44]; Avusturya, Bulgaristan, geç Miyosen [45]; Türkiye'de Ankara, Karaman, İstanbul, Malatya'da geç Miyosen'de [23, 38, 41, 46] İstanbul'da geç Miyosen ve Pliyosen'de [29, 30] bulunmuştur.

Cyprideis torosa, İtalya'da Messiniyen [47], Fransa'da geç Miyosen [48]; Türkiye'de Gelibolu'da Pannoniyen [49, 50]; İstanbul'da Ponsiyen [46]; Malatya ve İstanbul'da geç Miyosen'de [41, 42], Eskişehir'de Pliyo-Pleyistosen [23], Pliyosen [51]; Adana ve Misis'de Pliyosen'de [39] tanımlanmıştır. Tür güncel olarak da gözlenmektedir.

Cyprideis pannonica, Avusturya, Macaristan, Çek Cumhuriyeti ve Yugoslavya'da erken Pannoniyen'de [44, 45, 52, 53], İtalya'da geç Messiniyen'de [54]; Türkiye'de Bursa, Denizli, Ankara, Kayseri, Erzurum ve İstanbul/Bakırköy'de geç Miyosen ve Ponsiyen'de [23, 40, 46]; İstanbul'da Tortoniyen-Pliyosen'de [29, 30]; Malatya'da geç Miyosen'de [42] tanımlanmıştır.

Cyprideis sohni, Türkiye'de Doğu Akdeniz Kuzeyi ve Kuzey Anadolu'da geç Pleyistosen'de [23]; Antakya Havzası'nda Serravaliyen [33]; İstanbul/ Bakırköy havzası'nda Tortoniyen-Messiniyen [40]; *Miocyprideis sarmatica* Kuzey Bulgaristan'da erken-orta Sarmasiyen'de [55]; Yugoslavya'da Tortoniyen'de [56], Viyana Havzası ve Çek Cumhuriyeti'nde Sarmasiyen'de [57]; Macaristan'da Sarmasiyen'de [58]; Romanya, Pannonik Havza, erken Sarmasiyen [59]; Türkiye'de Malatya, Adana-Karsantı Baseni, Trakya'da erken Miyosen ve geç Miyosen'de [23, 60, 61] gözlenmektedir (Çizelge 1).

SİSTEM	SERİ	KAT	FORMASYON	ÜYE	KALINLIK(m)	LİTOLOJİ	ÖRNEK NUMARASI	Cythereilla glypta	Cyprideis torosa	Cyprideis sohni	Cyprideis seminulum	Cyprideis pannonica	Cyprideis anatolica	Miocyprideis sarmatica	Cyamerytheridea meniscus	Loxocorcha sp.	Xestoleberis communis	Xestoleberis margaritae						
NEOJEN	MIYOSEN	Tortoniyen	KUZGUN	MEMİŞLİ	2	Silttaşı	S-8	□																
						Kumtaşı	S-7				+	□												
						Silttaşı Kumtaşı	S-6	□			+	□												
							S-5	□			+	□												
							S-4	□			+	□												
							S-3	○																
						Tüfit																		
						Çamurtaşı	S-2	□	□	○														
						Tüf																		
						Şeyl	S-1	□		+	□													

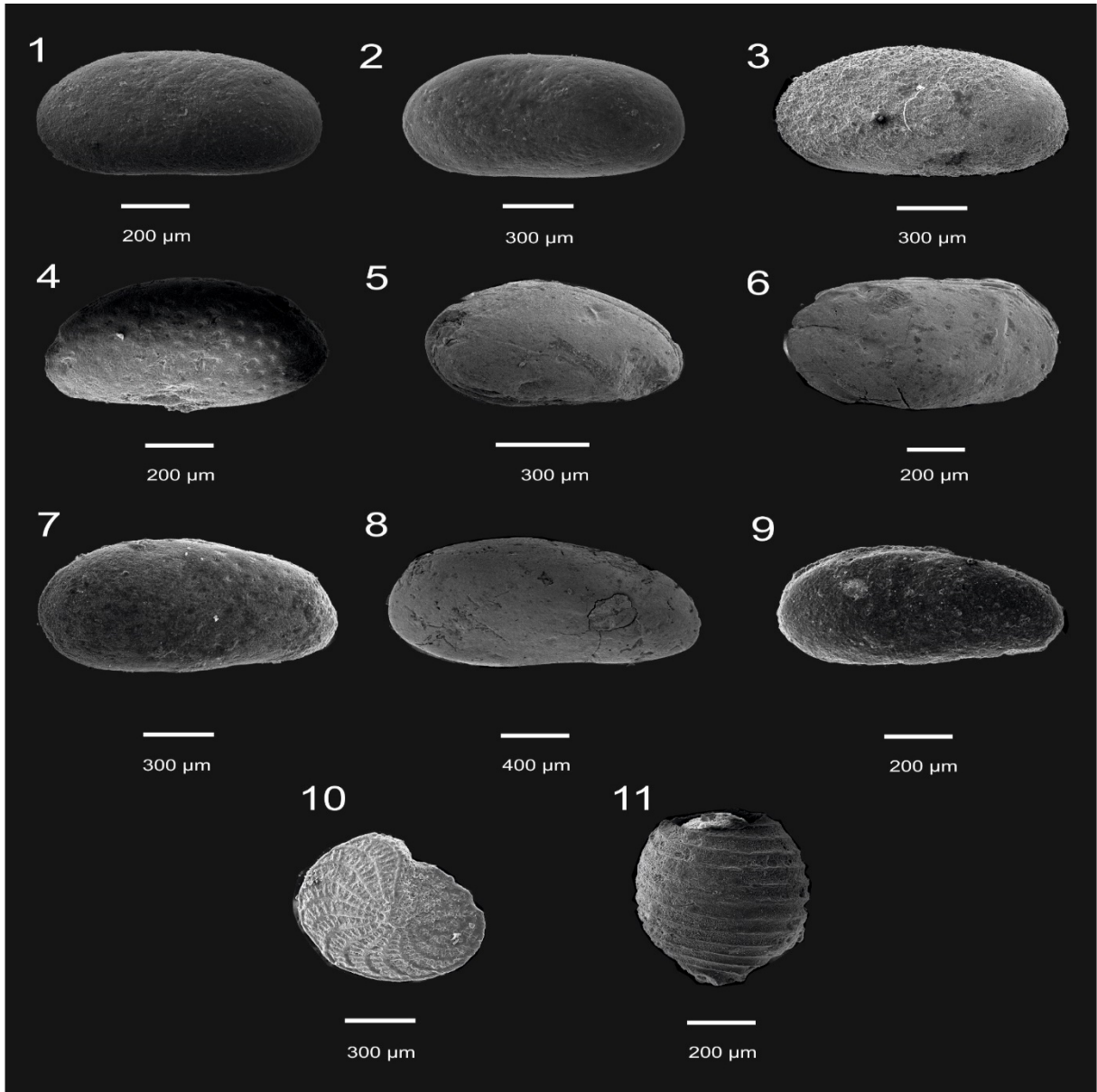
Çok nadir : + Nadir : ○ Yaygın : □

Şekil 6. Salbaş Ölçülü Stratigrafi Kesiti ve ostrakod dağılımı.

Cyamocytheridea meniscus, Antakya Havzası'nda Tortoniyen [32] ; Adana/Karsantı Havzası'nda erken-orta Miyosen [60], Adana/ İncirlik ve Huzurkent yörelerinde Tortoniyen [9, 13]; Adıyaman'da Tortoniyen'de [62]; *Xestoleberis communis* Kıbrıs, Pliyosen-Güncel [63]; Kuzey Adana ve Misis, geç Miyosen-Pliyosen [39]; Yenice-Adana, Tortoniyen [34]; Salbaş-İmamoğlu, Tortoniyen-Pliyosen [35]; Adana Baseni, Tortoniyen –Pliyosen [60]; Adıyaman, Tortoniyen [62]; İstanbul, Bakırköy Havzası'nda Tortoniyen-Messiniyen [40]'de; *Xestoleberis margaritae* Yunanistan, Güncel [64]; Cezayir, Güncel [65]; Türkiye/İstanbul-Bakırköy, Pliyosen [30]; Altınova, İzmit / Türkiye, geç Pliyosen [66]'de bulunmuştur (Çizelge 1). *Cyprideis* ise Tortoniyen başlangıç düzeyini temsil eden bir ostrakod cinsidir.

Çalışma alanında belirlenen bu ostrakod türleri, Türkiye, Doğu Akdeniz, İtalya, Fransa, Viyana Havzası ve Merkezi Paratetis'te benzer yaş aralığını temsil eden litojiler içerisinde tanımlanmıştır. Bu

çalışmada da geç Miyosen yaş aralığını temsil eden ostrakod türleri ile birlikte değerlendirildiğinde çalışılan istifin yaşı geç Miyosen olarak verilmiştir. Ayrıca Fadıl kesitlerinde gözlenip tanımlanan mikro gastropod türlerinden *Pirenella picta* Viyana Havzası'nda Tortoniyen'de [67]; Kuzey Avusturya'da Badeniyen-Tortoniyen'de [68] Körlü (Tarsus-Mersin) yöresinde yapılan çalışmada Tortoniyen'de [3] Katalonya/İspanya'da geç Langiyen-Tortoniyen'de [69]; Belgrad'da orta ve geç Miyosen'de [70]; *Terebralia bidentata* Polonya'da erken Tortoniyen'de [71]; Körlü (Tarsus-Mersin)'de yapılan çalışmada Tortoniyen'de [3]; Doğu Akdeniz ve merkezi Paratetis'de erken Miyosen'de [72]; İtalya'da geç Tortoniyen'de [73] bulunmuştur. Çalışma alanında da bulunan bu mikro gastropod türleri, Türkiye, Doğu Akdeniz, Yunanistan, İspanya, Fransa, Viyana Havzası, Polonya ve Merkezi Paratetis'te de benzer yaş aralığını temsil eden litolojiler içerisinde tanımlanmıştır. Bu fauna ile de tüftüli istifin geç Miyosen'de çökeldiği belirlenmiştir.



Levha 2. Şekil 1-3. *Miocyprideis sarmatica* (Zalanyi) 1. Sol kapak, dış görünüm, Salbaş Ölçülü Kesit, 8 no'lu örnek, 2. Kabuk, sol dış görünüm, Salbaş Ölçülü Kesit, 8 no'lu örnek, 3. Sol kapak, dış görünüm, Salbaş Ölçülü Kesit, 8 no'lu örnek; Şekil 4-5. *Cyamocytheridea meniscus* Doruk, 4. Kabuk, sol dış görünüm, Salbaş Ölçülü Kesit, 8 no'lu örnek 5. Kabuk, sağ dış görünüm, Salbaş Ölçülü Kesit, 8 no'lu örnek, Şekil 6. *Loxococoncha* sp. 6. Kabuk, sağ dış görünüm, Salbaş

Ölçülü Kesit, 8 no'lu örnek; Şekil 7. *Xestoleberis communis* Müller 7. Kabuk, sağ dış görünüm, Salbaş Ölçülü Kesit, 8 no'lu örnek; Şekil 8-9. *Xestoleberis margaritea* (Müller), 8. Sağ kapak, dış görünüm, Salbaş Ölçülü Kesit, 8 no'lu örnek 9. Kabuk, sağ dış görünüm, Salbaş Ölçülü Kesit, 8 no'lu örnek; Şekil 10. *Elphidium crispum* (Linné); Şekil 11. *Chara* sp.

Çizelge 1. Fadıl-Salbaş/Adana yöresine ait ostrakod topluluğu ve stratigrafik dağılımları.

Türün Adı	Stratigrafik Dağılım	Yaşlandırma	Tanımlayan Araştırmacı
<i>Cytherella glypta</i>	Türkiye/Adana Havzası	geç Miyosen	Doruk, 1973
<i>Cytherella glypta</i>	Türkiye/Antakya Havzası Türkiye/Adana Havzası (Yenice, Tarsus) Türkiye/Salbaş-İmamoğlu Türkiye/Huzurkent - Tarsus Türkiye/İncirlik-Adana Türkiye/Kuzey Adana-Misis	Serravaliyen Tortoniyen Pliyosen Tortoniyen Serravaliyen-Messiniyen geç Miyosen-Pliyosen	Doruk, 1973 Şafak, 1993a Öğrünç, 1996 Şafak ve Heybeli, 2008 Usta, 1994 Nazik ve Gökçen, 1995
<i>Cyprides anatolica</i>	Türkiye/Doğu Akdeniz, K.Anadolu Türkiye/Antakya Havzası Türkiye/Bakırköy Havzası Türkiye/İstanbul Batısı Türkiye/Batı Bakırköy	geç Pliyosen Serravaliyen-Pliyosen Tortoniyen-Messiniyen Tortoniyen-Pliyosen Tortoniyen-Pliyosen	Bassiouni, 1979 Şafak, 1993a Şafak, 1997b Şafak ve ark., 1999a Şafak ve ark., 1999b
<i>Cyprides seminulum</i>	Türkiye/Yedikule-İstanbul Türkiye/Malatya Karadağ Cumhuriyeti Avusturya, Bulgaristan Türkiye/ Ankara-Köprüköy Türkiye/Karaman Türkiye/İstanbul Türkiye/Batı İstanbul Türkiye/Bakırköy	geç Miyosen geç Miyosen geç Ponsiyen geç Miyosen geç Miyosen geç Miyosen geç Miyosen-Pliyosen geç Miyosen	Şafak, 2016 Nazik ve ark., 2008 Krstic, 1963,1970 Kollman, 1960 Bassiouni, 1979 Şafak, 1997 Şafak, 2016 Şafak ve ark., 1999a,b Nazik, 1998
<i>Cyprides torosa</i>	İtalya Fransa Türkiye/Gelibolu Türkiye/İstanbul Türkiye/Malatya Türkiye/İstanbul Türkiye/Eskişehir Türkiye/Kuzey Adana-Misis Türkiye/Eskişehir	Messiniyen geç Miyosen Pannoniyen Ponsiyen geç Miyosen geç Miyosen Pliyosen-Pleyistosen Pliyosen Pliyosen	Decima, 1962 Carbonnel, 1969 Ünal ve Tunoğlu, 1996; Ünal, 1996 Nazik, 1998 Nazik ve ark., 2008 Şafak, 2016 Bassiouni, 1979 Nazik ve Gökçen, 1995 Tunoğlu ve ark., 1995
<i>Cyprides pannonica</i>	Avusturya Macaristan Çek Cumhuriyeti Yugoslavya İtalya Türkiye/Bursa, Denizli, Kayseri Türkiye/İstanbul Türkiye/İstanbul Türkiye/ İstanbul Batısı Türkiye/Batı Bakırköy Türkiye/Malatya	erken Pannoniyen erken Pannoniyen erken Pannoniyen erken Pannoniyen geç Messiniyen geç Miyosen geç Miyosen Ponsiyen Tortoniyen-Pliyosen Tortoniyen-Pliyosen geç Miyosen	Kollman, 1960 Mehes, 1908 Pokorny, 1944 Krstic, 1970 Decima, 1964 Bassiouni, 1979 Şafak, 1997 Nazik, 1998 Şafak ve ark., 1999a Şafak ve ark., 1999b Nazik ve ark., 2008
<i>Cyprides sohni</i>	Türkiye/Doğu Akdeniz Kuzeyi, Kuzey Anadolu Türkiye/Antakya Türkiye/İstanbul, Bakırköy Havzası	geç Pleyistosen Serravaliyen Tortoniyen-Messiniyen	Bassiouni, 1979 Şafak, 1993a Şafak, 1997b
<i>Miocyprideis sarmatica</i>	Bulgaristan Yugoslavya Viyana Havzası Çek Cumhuriyeti Macaristan Romanya, Pannonik Havzası Türkiye/Malatya Türkiye/Karsantı Havzası Türkiye/Trakya Havzası	erken-orta Sarmasiyen Tortoniyen Sarmasiyen Sarmasiyen Sarmasiyen erken Sarmasiyen erken Miyosen erken Miyosen geç Miyosen	Stancheva, 1965 Krstic, 1973 Jiriček, 1974 Jiriček, 1974 Töth, 2008 Filipescu ve ark., 2014 Bassiouni, 1979 Şafak, 1993b Rückert-Ülkümen ve ark., 2009

<i>Cyamoctheridea meniscus</i>	Türkiye/Antakya Havzası Türkiye/Karsanti Havzası-Adana Türkiye/İncirlik-Adana Türkiye/Huzurkent-Adana Türkiye/Adıyaman	Tortoniyen erken-orta Miyosen Tortoniyen Tortoniyen Tortoniyen	Doruk, 1973 Şafak, 1993b Şafak ve ark., 1996 Şafak ve Heybeli, 2008 Şafak ve Meriç, 1996
<i>Xestoleberis communis</i>	Türkiye/Kıbrıs Türkiye/Kuzey Adana ve Misis Türkiye/Yenice-Adana Türkiye/Salbaş-İmamoglu-Adana Türkiye/Adana Havzası Türkiye/Adıyaman Türkiye/İstanbul-Bakırköy Havzası	Pliyosen-Güncel geç Miyosen-Pliyosen Tortoniyen Tortoniyen-Pliyosen Tortoniyen-Pliyosen Tortoniyen Tortoniyen-Messiniyen	Athersuch, 1979 Nazik ve Gökçen, 1995 Öğrünç, 1996 Nazik, 1996 Öğrünç, 2001 Şafak ve Meriç, 1996 Şafak, 1997b
<i>Xestoleberis margeritea</i>	Yunanistan Cezayir Türkiye/İstanbul-Batı Bakırköy Türkiye/İzmit-Altınova	Güncel Güncel Pliyosen geç Pleyistosen	Barbeito-Gonzales, 1971 Yassini, 1979 Şafak ve ark., 1999b Schneider ve ark., 2005

Çizelge 1- Devamı

6. Paleortam

Yürütülen paleontolojik çalışmalarda ostrakod ve mikrogastropod faunasının genellikle iyi korunduğu gözlenmiştir. Tespit edilen faunada *Cyprideis seminulum*, *Cyprideis torosa*, *Cyprideis anatolica* gibi ostrakod türleri, *Chara* sp. gibi alg cinsi tanımlanmıştır. Genellikle sahil, delta ve lagünlerde *Cyprideis*, az tuzlu lagün ve denize ulaşan nehir ağızlarında laküstrin ortam sedimanlarında yoğunur. Aynı zamanda lagün ortamına işaret eden bu cins ve *Chara* sp. gibi alg cinsinin bulunması da tüfitin lagünel ortamda çökeldiğini göstermektedir (Çizelge 2). Tüflü seviye üzerinde yer alan kumtaşlarında ise sayıca çok azalan lagüner ostrakod cinslerinin, yerini sığ deniz özellikli (kısmen lagün, genellikle epineritik) ostrakod cins ve türlerine bıraktığı görülmektedir (Çizelge 2). Ayrıca *Pirenella Terebralia* gibi gastropod cinsleri de lagüner ortamda ve sığ koşullarda bulunan gastropod cinsleridir.

Çizelge 2. İnceleme alanında tanımlanan ostrakod cinslerinin formasyon içerisinde ortamsal dağılımları [25, 27, 74'den yararlanarak].

Sistem	Seri	Kat	Formasyon	Üye	Ortamlar					
					Lagün	Litoral	Epineritik	İnfraneritik	Batiyal	
Neojen	Miyosen	Messiniyen	Kuzgun	Memişli	<i>Cytherella</i>					
					<i>Miocyprideis</i>					
					<i>Xestoleberis</i>					
					<i>Cyamocytheridea</i>					
					<i>Loxoconcha</i>					
	Salbaş Tüfit					<i>Cyprideis</i>				

7. Sonuçlar

Fadıl ve Salbaş yöresinde (Salbaş, Karaisalı/Adana) tüfitli seviyelerde yapılan mikropaleontolojik (ostrakod) çalışmalar sonucunda; Salbaş Üyesi içerisinde 5 *Cyprideis* türü, balık otoliti ve yanısıra 1 *Elphidium* bentik foraminifer türü bulunmuştur. Memişli Üyesi'nde ise nadir olarak 1 *Cyprideis* türüne karşın 5 denizel ostrakod türü belirlenmiştir. Belirlenen mikrofaunanın, *Cytherella glypta*, *Cyprideis anatolica*, *Cyprideis torosa*, *Cyprideis seminulum*, *Cyprideis sohni*, *Cyprideis pannonica*, *Miocyprideis sarmatica*, *Cyamocytheridea meniscus*, *Xestoleberis communis*, *Xestoleberis margaritae* gibi ostrakod türleri ile *Chara* sp. gibi alg, otolit ile *Pirenella picta*, *Terebralia bidentata* gibi mikro mollüsk türlerini içermekte olduğu gözlenmiştir. Bu çalışmada gözlenen 3 referans kesitte de *Cyprideis* türleri Tortoniyen başlangıcından itibaren net bir şekilde tanımlanmış olup, bu cins ve türlerinin geç Miyosen başlangıcından itibaren görünür olması, volkanik kökenden beslenmenin yoğun olduğu tüfitli istifin (Salbaş Üyesi) çökme yaşına ışık tutmaktadır. Tanımlanan ostrakod türlerinin stratigrafik dağılımları gözönünde tutulduğunda, Kuzgun Formasyonu içerisindeki tüfit ve üzerine gelen kumtaşı istifinin yaşının Tortoniyen-erken Messiniyen olduğu anlaşılmıştır.

Genellikle delta ve lagün ortamını, denize ulaşan nehir ağızlarını temsil eden *Cyprideis* ostrakod cins ve türlerinin yanısıra *Terebralia* ve *Pirenella* cins ve türlerinin istif içerisinde gözlenmesi ortamın lagüner olduğunu kanıttır. *Cytherella*, *Miocyprideis*, *Cyamocytheridea*, *Xestoleberis* cinsleri ise lagüner ortamdan derinleşen sığ deniz koşullarına geçişi işaret etmektedir.

Avşar ve ark. [12] ile benzer bulgular içeren bu çalışmada Salbaş Tüfit Üyesi'nde sadece lagün ortamını karakterize eden *Cyprideis* cins ve türleri bulunması önemli bir sonuçtur. Gerek *Cyprideis* ostrakod cinsi ve türleri, gerekse otolit bulgusu acısu (lagün) ortamına işaret etmektedir. Çalışma ile, ostrakod faunası yanısıra *Chara* gibi alg ile otolit bulgusu, o dönemde deniz bağlantılı ve akarsularla beslenen lagünün var olabileceği düşüncesini desteklemektedir.

Kaynaklar

- [1] Schmidt GC. Stratigraphic Nomenclature for the Adana Region Petroleum District. 7. Petroleum Administration Bull. 1961; 6: 47-63, Ankara.
- [2] İlker, S. Adana Baseni kuzeybatısının jeoloji ve petrol olanakları, T. P. A. O. 1975; Arama arşiv No: 973, Ankara.
- [3] Tanar Ü. Körlü (Tarsus-Mersin) Bölgesi "Karaisalı, Kuzgun, Memişli" Formasyonlarının Molluska Faunası, Jeoloji Müh. Dergisi 1985; 24: 17-31, Adana.
- [4] Yetiş C, Demirkol C, Kerey E. Adana Havzasının Kuzgun formasyonunun (Üst Miyosen) fasiyesi ve ortamsal nitelikleri. T. J. K. Bült. 1986; 29:81-96.
- [5] Yetiş C, Demirkol C. Adana Baseni batı kesiminin detay jeolojik etüdü. MTA 1986; Rapor No:8037, 187 s., Ankara.
- [6] Yetiş C. Reorganisation of the Tertiary stratigraphy in the Adana Basin, Southern Turkey. Newsletter Stratigraphy 1988; 20(1): 43- 58.
- [7] Ünlügenç UC. Controls on Cenozoic sedimentation in the Adana Basin, Southern Turkey. Unpublished Ph.D Thesis, Keele University 1993; UK, p. 229.
- [8] Şafak Ü, Nazik A. Eshab-ı Kehf (Tarsus-Mersin) dolayı Neojen istifinin ortamsal yorumu. Ç.Ü. Yerbilimleri Dergisi 1994; 15. Yıl Sempozyumu: 291-300, Adana.
- [9] Şafak Ü, Ünlügenç UC, Şenol M. İncirlik (Adana güneydoğusu) çevresinde yeralan Geç Miyosen resifinin stratigrafisi ve mikropaleontolojisi. T.J.K. Bülteni 1996; 11: 138-153, Ankara.
- [10] Korkmaz A. Huzurkent (Tarsus) civarı Neojen istifinin mikropaleontolojik özellikleri ve ortamsal yorumu. Ç.Ü. Fen Bilimleri Ens. Yüksek Lisans Tezi 2000; 146s., Adana.
- [11] Öğrünç G, Nazik A. Yenice (Tarsus) kuzeyi (Adana Havzası) Üst Miyosen-Pliyosen istifinin ostrakod faunası. Türkiye Jeoloji Bülteni 1998; 41 (1): 63-84.
- [12] Avşar N, Nazik A, Dinçer F, Darbaş G. Adana Havzası Kuzgun Formasyonunun mikro fosiller ile ortamsal yorumu. Hacettepe Yerbilimleri Dergisi 2006; 27 (1):1-21.

- [13] Şafak Ü, Heybeli D. Huzurkent (Tarsus) Civarındaki Kuzgun Formasyonu'nun Ostrakod Toplulukları ve Ortamsal Özellikleri. *Yerbilimleri (Geosound)* 2008; Prof. Dr. Servet Yaman Özel Sayısı, 52: 225-247, Adana.
- [14] Darbaş G, Nazik A. Micropaleontology and paleoecology of the Neogene sediments in the Adana Basin (South of Turkey). *Journal of Asian Earth Sciences* 2010; 39(3):136-147.
- [15] Şafak Ü. Berdan ve Kazanlı (Mersin-Güney Türkiye) Sondajlarının Ostrakod Topluluğu. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* 2019; 34(2):197-207.
- [16] Öğrünç G, Gürbüz K, Nazik A. Adana Baseni Üst Miyosen-Pliyosen istifinde "Messiniyen tuzluluk krizine" ait bulgular. *Yerbilimleri, Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni* 22, 2000, 183-192.
- [17] Öğrünç G. Messiniyen tuzluluk krizi sırasındaki ve sonrasındaki Çökellerin stratigrafisi ve Paleokolojisi. Bir örnek: Adana Baseni. *Ç.Ü. Fen Bilimleri Ens. Doktora Tezi* 2001; 218s., 9lev., Adana.
- [18] Faranda C, Gliozzi E, Cipollari P, Grossi F, Darbaş G, Gürbüz K, Nazik A., Gennari R, Cosentino D. Messinian paleoenvironmental changes in the easternmost Mediterranean Basin: Adana Basin, southern Turkey. *Turkish J Earth Sci* 2013; 22: 839-863
- [19] Sissingh W. Late Cenozoic Ostracode of the South Aegean Island. *Arc.Bull. Utrecht. Micropaleontology* 1972; 6: 1-187.
- [20] Hartmann G, Puri H. Summary of Neontological and Paleontological Classification of Ostracod. *Mitt. Hamburg Zool. Must. Inst.* 1974; 20: 7-73.
- [21] Morkhoven FPT. Post Paleozoic Ostracoda, Elsevier edit. 1963; 2:1-478.
- [22] Doruk N. Neogene and Quaternary Ostracoda of Adana and Antakya Basins (Turkey). *International Symposium on Ostracodes, Proceedings N. Krstic (ed.) Belgrad* 1979: 165- 172.
- [23] Bassiouni MA. Brackische und marine Ostrocoden (Cytherideinae, Hemicytherinae, Trachyleberidinae) aus dem Oligozoen und Neogen der Türkei. *Geol. Jb.* 1979; Reihe B, Heft 31, Hannover: 1-200.
- [24] Yassini I. The littoral system Ostracodes from the bay of Bou-İsmail, Algiers, Algeria. *National Iranian Oil Company, Revista Espanoia de Micropaleontologia* 1979; vol.XI, nüm.3: 353-416, Tehran, Iran.
- [25] Stambolidis A. Zur Kenntnis Der Ostracodes des Evros-Delta (Nord-Agaisches Meer) Griechenland. *Mitt. Hamb. Zool. Mus.Inst.* 1985; 82:155-254.
- [26] Athersuch J, Home DJ, Whittaker JE. Marine and Brackish Water Ostracods. *Synop. Br. Fauna (N. S.)* 1989; 43, 343 pp.
- [27] Meisch C. Freshwater Ostracoda of western and central Europe. *Spektrum Akad. Verl., Heidelberg-Berlin* 2000.
- [28] Meriç E. Mikropaleontoloji. *TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayını* 1985; No: 19, 135 s., Ankara.
- [29] Şafak Ü, Avşar N, Meriç E. Ostracoda and Benthic Foraminifera of Tertiary Sequence of Western Part of Istanbul. *4th European Ostracodologists Meeting, Geosound* 1999a; No:35: 173-201, Adana.
- [30] Şafak Ü, Avşar N, Meriç E. Batı Bakırköy (İstanbul) Tersiyer Çökellerinin ostrakod ve foraminifer topluluğu. *Maden Tetkik Arama Dergisi* 1999b; No. 121: 17-33, Ankara.
- [31] Wenz W. Gastropoda, Teil: I: Allgemeiner Teil und Prosobranchia. *Handbuch der Paläozoologie* 1938; 6, Berlin, 1505.
- [32] Doruk N. A stereo-atlas of ostracod shells. Department of Geology in the University of Leicester 1973; volume 1, part 1, England.
- [33] Şafak Ü. Antakya Havzası ostrakod biyostratigrafisi. *Türkiye Jeoloji Bülteni* 1993a; c.36, s.2: 115-137, Ankara.
- [34] Öğrünç G. Yenice (Tarsus) kuzeyi Neojen istifinin mikropaleontolojik incelenmesi ve ortamsal özellikleri. *Ç.Ü. Fen Bilimleri Ens. Yüksek Lisans Tezi* 1996; 115s., eylül, 5lev., Adana.
- [35] Nazik A. Salbaş-İmamoğlu (Adana) bölgesi Geç Tersiyer ostrakodların. *Ç.Ü. Geosound Dergisi* 1996; sayı 29, s.213, Adana.

- [36] Şafak Ü, Heybeli D. Huzurkent (Tarsus) Civarındaki Kuzgun Formasyonu'nun Ostrakod Toplulukları ve Ortamsal Özellikleri. *Yerbilimleri (Geosound) 2008*; Prof. Dr. Servet Yaman Özel Sayısı, Sayı 52: 225-247, Adana.
- [37] Usta M. İncirlik Köyü G'yi (Adana) Çalıdağı mevkii ve çevresinde yeralan kırıntılı birimlerin mikropaleontolojik incelemesi. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi 1994; Adana (yayınlanmamış).
- [38] Şafak Ü. Karaman yöresi Üst Miyosen-Pliyosen istifinin ostrakod faunası ve ortamsal yorumu. *M. T. A. Dergisi 1997a*; No. 119: 89-102, Ankara.
- [39] Nazik A, Gökçen N. Ostracods of the uppermost Tertiary sequence of the North Adana Basin and Misis area. *Ostracoda and Biostratigraphy*, J. Riha, ed: A. A. Balkema, Rotterdam 1995; 251-260, Balkema-Rotterdam.
- [40] Şafak Ü. Bakırköy Havzası (İstanbul) Tersiyer Çökellerinin Ostrakod Faunası. *Yerbilimleri 1997b*; 30, 255-285.
- [41] Şafak Ü. Yedikule-İstanbul Bölgesi Tersiyer (Paleojen-Neojen) Çökellerinin Ostrakod Faunası ve Ortamsal Özellikleri. *MTA Dergisi 2016*; Sayı 152: 39-63, Ankara.
- [42] Nazik A, Türkmen İ, Koç C, Aksoy E, Avşar N, Yayık H. Fresh and Brackish Water Ostracods of Upper Miocene Deposits, Arguvan/Malatya (Eastern Anatolia). *Turkish Journal of Earth Sciences 2008*; Vol. 17: 481-495.
- [43] Krstic N. Pontian ostracodes at some localities in Serbiawith regards to the family Cytheridae, *Vesnik. A21 1963*: 103-110, Abb.1-12, 2 Tab., Beograd.
- [44] Krstic N. Ostracodes des couches congériennes: 1. Cyprideis II.-*Bull. Mus. Hist. Nat 1970*; A23: 153-183, 8 Taf., Beograd.
- [45] Kollmann K. Cytherideinae und Schulerideinae n. subfam. (Ostracoda) aus dem Neogen des östlichen Österreich, *Mitt. Geol. Ges. Wien 1960*; 51: 89-195, 5 Abb., 4 Tab., 21 Taf., 1 Kt., Wien.
- [46] Nazik A. Bakırköy formasyonu'nun (Küçükçekmece-İstanbul) ostrakod faunasına göre yaşı ve oluşum ortamı hakkında yeni görüşler. *İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yerbilimleri Dergisi 1998*; Cilt:11: 87-101.
- [47] Decima A. Ostracodi del genus Cyprideis (Jones) del Neogene e del Quaternario Italiani. *Paleontographia Italiana 1962*; Pizza 57: 81 -133.
- [48] Carbonnel G. Les Ostracodes du Miocène Rhoda-nien, *Docum. Lab. Géol. Fac. Sci. 1969*; Lyon, 32, I: 228 s., 11Abb., 16 Taf., 4 Tab., Lyon.
- [49] Ünal A. Gelibolu Yarımadası Neojen İstifinin ostrakod biyostratigrafisi. Yüksek Müh. Tezi, Hacettepe Üniv 1996; 160 s., Ankara.
- [50] Ünal A, Tunoğlu C. The upper Miocene Ostracoda fauna of Gelibolu Peninsula (NW Turkey). 30. European Ostracodologists Meeting, Abstracts 1996; Bierville, Paris, p. 23
- [51] Tunoğlu C, Çelik M, Temel A. Doğanbey-Seydişehir GB Konya yöresi) Neojen istifinin ostrakod topluluğu ve ortamsal yorumu. *KTÜ 30. Yıl Sempozyum Bildirileri 1995*; Trabzon.
- [52] Mehes G. Beiträge zur Kenntnis der pliozänen Ostrakoden Ungarns. II. Die Darwinulidäen und Cytheridäen der unterpannonischen Stufe, *Földtani Közlöny, (Suppl.) 1908*; 38 (7-10): 601-635, 3 Abb., Taf. 8-11, Budapest.
- [53] Pokorny V. La microstratigraphie du Pannonien entre Hodonin et Mikulcice, *Bull. Int. Acad. Tcheque Sci. 1944*; 23: 1-25.
- [54] Decima A. Ostracodi del genus Cyprideis Jones del Neogene e del Quaternario Italiani. *Paleontographia Ital. 1964*; V:62: 81-133, 9 Abb., Taf. 24-38, Pisa.
- [55] Stancheva M. Ostracoda from the Neogene in North-Western Bulgaria, IV. Pontian Ostracoda; V. Development and stratigraphical importance, *trav. Géol. Bulgarie, ser. Paléont 1965*; 7: 15-69, 8 Tab., 4 Taf., Sofia.
- [56] Krstic N. Biostratigraphy of the Congerian Beds in the Belgrade Region on the basis of Ostracoda, with the description of the species of the genus Amplocypris., *Monogr. Inst. Geol. Min. Explor., Invest. 1973*; 4: 158 s., 82 Abb., 3 Beil., 6 Tab., 18 Taf., Beograd.
- [57] Jiříček R. Biostratigraphische Bedeutung der Ostracoden des Sarmats s. str. In: E. Brestenská (ed.), *Chronostratigraphie und Neostatotypen 1974*; M5, Sarmatien, 434-457. VEDA, Bratislava.
- [58] Töth E. Budapest Sarmatian (Middle Miocene) ostracod fauna from the Zsámbék Basin, Hungary. *Geologica Pannonica 2008*; 36: 101-151.

- [59] Filipescu S, Miclea A, Gross M, Harzhauser M, Zagorsek K, Jipa C. Early Sarmatian paleoenvironments in the easternmost Pannonian Basin (Borod Depression, Romania) revealed by micropaleontological data. *Geologica Carpathica* 2014; 65: 67-81.
- [60] Şafak Ü. Karsanti yöresinde (KKD Adana) yüzeyleyen Tersiyer istifinin ostrakod dağılımı ve ortamsal özellikleri. *T. J. K. Bülteni* 1993b; cilt 36, Sayı 1, s. 95-113.
- [61] Rückert-Ülkümen N, Özkar-Öngen İ, Çevik-Öner B. Doğu Paratetis'in Ergene Havzası'ndaki paleobiyocoğrafik özellikleri. *İstanbul Yerbilimleri Dergisi* 2009; C. 22, s.2: 119-140.
- [62] Şafak Ü, Meriç E. Kahta (Adıyaman) Geç Miyosen Ostrakod Topluluğu hakkında Yeni Görüşler. *Yerbilimleri* 1996; Sayı:29: 171-197, Adana.
- [63] Athersuch J. The ecology and distribution of the littoral ostracods of Cyprus. *Journal of Natural History* 1979; 13: 135-160.
- [64] Barbeito-Gonzales PJ. Die Ostracoden des Küstenbereiches von Naxos (Griechenland) und ihre Lebensbereiche. *Mitteilungen aus dem Hamburgischen Zoologischen Museum und Institut* 1971; 67: 255-326
- [65] Yassini I. The littoral system Ostracodes from the bay of Bou-İsmail, Algiers, Algeria. *National Iranian Oil Company, Revista Espanola de Micropaleontologia* 1979; vol.XI, nüm.3: 353-416, Tehran, Iran.
- [66] Schneider S, Witt W, Yiğitbaş E. Ostracods and bivalves from an Upper Pleistocene (Tyrrhenian) marine terrace near Altinova (İzmit Province, Turkey). *Zitteliana* 2005; A45, 87-114, 2 textfigs, 3 Pls, 3 Tabs, München.
- [67] Zapfe H. Die vorzeitlichen Meere im Wiener Becken. *Naturhistorisches Museum Wien* 1964.
- [68] Mariani A, Papp A. Zur Kenntnis der Molluskenfauna von St. Veit a. d. Triesting (Niederösterreich), *Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt* 1966: 141 - 147.
- [69] Batllori J, Martinell J. Actividad Predadora en Mollusc del Penedes (catalunya). *Revista Espanola de Paleontologia* 1992; 7 (1): 24-30.
- [70] Rundic L, Knezevic S. The Miocene fossiliferous sites of the Avala Mt. (Belgrade area, Serbia) and their importance. *Bulletin of the Natural History Museum* 2017; 10: 29-41.
- [71] Baluk W. Lower Tortonian gastropods from Korytnica, Poland. 1975; Part I, no. 32, with 3 text-figures and 21 plates.
- [72] Harzhauser M, Kowalke T. Early Miocene brackish-water Mollusca from the eastern Mediterranean and from Central Paratethys-a faunistic and ecological comparison by selected faunas. *Journal of the Czech Geological Society* 2001; 46/3-4.
- [73] Esu D, Amico, Girotti O. A Late Miocene (Tortonian) transitional molluscan fauna from Cessanati(Calabria, Southern Italy): paleobiogeographical implications. *European Region Annual Conference* 2010; Kiev, Ukraine.
- [74] Morkhoven FPT. *Post Paleozoic Ostracoda*. Elsevier edit. 1963; 2: 1-478.

MANYETİK ÖZELLİK GÖSTEREN GÖMÜLÜ BİR CİSMİN SINIR ANALİZİ VE NTG YÖNTEMLERİYLE KONUMUNUN BELİRLENMESİ

Ali ELMAS^{1*}, Ali Erden BABACAN²

¹⁻²Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Trabzon, 61080, Türkiye

Geliş tarihi: 04.05.2021 Kabul tarihi: 14.06.2021

ÖZET

Bu çalışmada yüze yakın gömülü bir cismin yerinin belirlenmesi test edilmiştir. Bu kapsamda, Karadeniz Teknik Üniversitesi Kanuni kampüs alanı içerisinde uygulama alanı olarak seçilen bir sahaya daha önceden boyutları ve konumu belli olan kullanım süresi bitmiş bir adet metalik özelliğe sahip MR cihazı test amaçlı olarak gömülmüştür. Bu cihazın gömülü olduğu alanda birçok profilde, toplam manyetik alan ölçüleri alınmış ve alınan ölçülerden elde edilen veriler haritalanmıştır. Sonra, toplam manyetik alan verilerine kutba indirgeme işlemi uygulanmış ve elde edilen yeni veriler haritalanmıştır. Kutba indirgenmiş verilere analitik sinyal, toplam yatay türev ve birinci düşey türev teknikleri uygulanmıştır. Daha sonra, kutba indirgenmiş veri haritasında belirlenen, gömülü cisim üzerinden geçen bir profil seçilerek, bu profildeki verilere normalize tam gradyent (NTG) yöntemi uygulanmıştır. Yapılan bu çalışma sonucunda gömülü cismin yanal sınırları ve derinliği belirlenebilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Manyetik, Normalize Tam Gradyent, Gömülü Cisim, Toplam Yatay Türev, Analitik Sinyal

DETERMINING THE POSITION OF A EMBEDDED OBJECT WITH MAGNETIC FEATURES BY BOUNDARY ANALYSIS AND NTG METHODS

ABSTRACT

In this study, determination of the location of an object buried close to the surface was tested. In this context, an expired metallic MR device, whose dimensions and location were previously determined, was buried in a field selected as the application area within the Karadeniz Technical University Kanuni campus area for testing purposes. The total magnetic field measurements were taken in many profiles in the area where this device was embedded, and the data obtained from the measurements were mapped. Then, the reduction process to the pole was applied to the total magnetic field data and the new data obtained were mapped. Analytical signal, total horizontal derivative and first vertical derivative techniques have been applied to the data reduced to the pole. Then, a profile that passes over the buried object, determined in the data map reduced to the pole, was selected, and the normalized full gradient (NFG) method was applied to the data in this profile. As a result of this study, the lateral boundaries and depth of the buried object could be determined.

Keywords: Magnetic, Normalized Full Gradient, Embedded Object, Total Horizontal Derivative, Analytical Signal

* e-posta¹: elmas@ktu.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3343-2742> (Sorumlu Yazar)

e-posta²: a.babacan@ktu.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8216-5225>

1. Giriş

Potansiyel alan verilerinin yorumlanmasında en önemli aşamalardan biri anomaliye neden olan kaynakların yatay konumlarının ve derinliklerinin belirlenebilmesidir [5]. Manyetik anomalilere neden olan kaynağın konumunun ve derinliğinin belirlenebilmesi için birçok yöntem geliştirilmiştir ([5], [13], [20], [21], [22]). AS tekniği potansiyel alan verilerinin yorumlanması için kullanılmıştır [13]. Anomaliye sebep olan jeolojik yapılar üzerinde çan şeklinde anomaliler üreten ve yapı kenarlarında maksimum genlik veren AS tekniği yaygın olarak kullanılır [13]. TYT tekniği, jeolojik yapıların yanal süreksizlik sınırlarını belirleyebilmek için kullanılmaktadır [8]. Bununla birlikte, daha sonraki yıllarda, genlik tabanlı bu yöntemlerin sığ ve derin etken yapıların sınırlarını aynı anda belirleme kabiliyetlerinin zayıf olması nedeniyle alanın yatay ve düşey türevlerinin farklı kombinasyonlarına dayalı çeşitli faz tabanlı yöntemler de geliştirilmiştir ([11], [15], [17], [18], [19]). Böylece, potansiyel alan verilerinin düşey türevleri alınarak yüzeye yakın hedef kütlelerin yanal sınırlarının belirlenme işlemleri yaygın olarak kullanılmaktadır [9]. Belirli bir ölçüm ağı seviyesinden başlayarak potansiyel alan verilerinin aşağı doğru analitik uzanımıyla, çeşitli dalga boylarından oluşan anomali içindeki belirli dalga uzunluklarındaki genliklerin yükseltilmesi amaçlanır. Aşağı uzanım, anomali ile çeşitli ağırlık katsayılarının (sayısal filtreler) konvolüsyonundan hesaplanması işlemi uzun yıllar boyunca kullanılmıştır ([7], [10], [12]). Normalize tam gradyent (NTG) yönteminin manyetik verilere uygulanması geçmiş yıllarda ilk defa gerçekleştirilmiştir [4]. Daha sonra ise, manyetik anomalilerden rezervuar modellemesi için NTG operatörünün uygulanabilirliğini araştırılmıştır [3].

Bu çalışmada, Karadeniz Teknik Üniversitesi Kanuni kampüs alanı içerisinde uygulama alanı olarak seçilen bir sahada gömülü olan metal bir MR cihazı üzerinde belli profillerde toplam manyetik alan ölçümleri yapılmıştır. Boyutları ve derinliği bilinen cismin yerini tekrar belirleyebilmek için, cisim üzerinde alınan toplam manyetik alan verileri öncelikle manyetik kuzey kutba indirgenmiştir. Kutba indirgenmiş verilere analitik sinyal, toplam yatay türev ve birinci düşey türev teknikleri uygulanmıştır. Son olarak da, kutba indirgenmiş veri haritasından faydalanılarak, gömülü cisim üzerinden geçen bir profil belirlenmiştir. Bu profildeki ayırık veriler NTG yöntemiyle kullanılarak cismin düşey konumu belirlenebilmiştir. Yapılan bu çalışma ile kullanılan tekniklerin, yüzeye yakın gömülü bir cismin yerini ayırt edebilme yeteneği test edilecektir. Bütün haritalar birlikte değerlendirilerek, gömülü cismin yeri belirlenmeye çalışılacaktır.

2. Materyal ve Metod

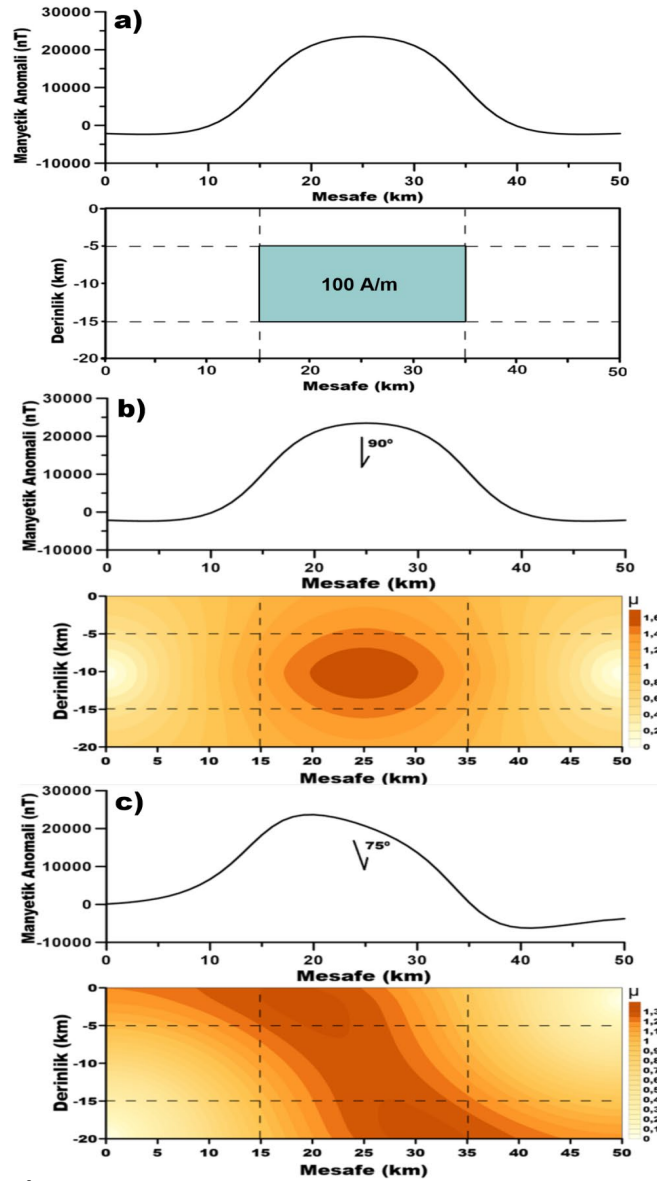
Çalışma alanındaki gömülü MR cihazının sınırlarını belirleyebilmek için, Analitik Sinyal (AS), Toplam Yatay Türev (TYT) ve birinci düşey türev tekniklerini de içeren POTENSOFT programı kullanılmıştır [1]. AS tekniği, bir sınır analiz tekniğidir [13]. potansiyel alan verilerinin değerlendirilmesi aşamasında AS, hedef kütleler üzerinde çan şeklinde anomaliler oluşturur. Ayrıca AS haritalarında, hedef kütlelerin yanal sınırlarında yüksek genlikler oluşturur [13] ve AS Formül 1'teki gibi tanımlanır:

$$AS = \sqrt{(\partial T/\partial x)^2 + (\partial T/\partial y)^2 + (\partial T/\partial z)^2} \quad (1)$$

Burada $\partial T/\partial x$, $\partial T/\partial y$ ve $\partial T/\partial z$ terimleri, kutba indirgenmiş manyetik verilerin x, y ve z yönlerindeki değişimlerini ifade etmektedir. Hedef kütlelerin yanal sınırlarını belirlemek için kullanılan diğer bir sınır analiz tekniği TYT tekniğidir [8]. TYT Formül 2'de verildiği gibi ifade edilir:

$$TYT = \sqrt{(\partial T/\partial x)^2 + (\partial T/\partial y)^2} \quad (2)$$

Burada $\partial T/\partial x$ ve $\partial T/\partial y$ terimleri, kutba indirgenmiş manyetik verilerin x ve y yönlerindeki değişimlerini ifade etmektedir.



Şekil 1. Eğim açısı 90° ve mıknatıslanma şiddeti 100 A/m olan 2 boyutlu sentetik bir modelin; a) manyetik anomalisi ve düşey pozisyonu, b) Modelin, manyetik eğim açısı 90° olarak alınarak hesaplanan NTG kesidi, c) Modelin, manyetik eğim açısı 75° olarak alınarak hesaplanan NTG kesidi.

Potansiyel alanların doğasına bağlı olarak kaynağın bulunduğu seviyelerdeki aşağı uzanım işleminde her zaman lokal gürültüler ortaya çıkar [16]. NTG yönteminin en önemli özelliği kaynağın bulunduğu derinliklerde ve daha derinlerde ortaya çıkan bu tür gürültüleri yuvarlatmasıdır. NTG operatörü boyutsuz bir operatör olarak manyetik anomaliler için,

$$G(x, z) = \frac{\sqrt{T_x(x, z)^2 + T_z(x, z)^2}}{\frac{1}{M} \sum_0^M \sqrt{T_x(x, z)^2 + T_z(x, z)^2}} \quad (3)$$

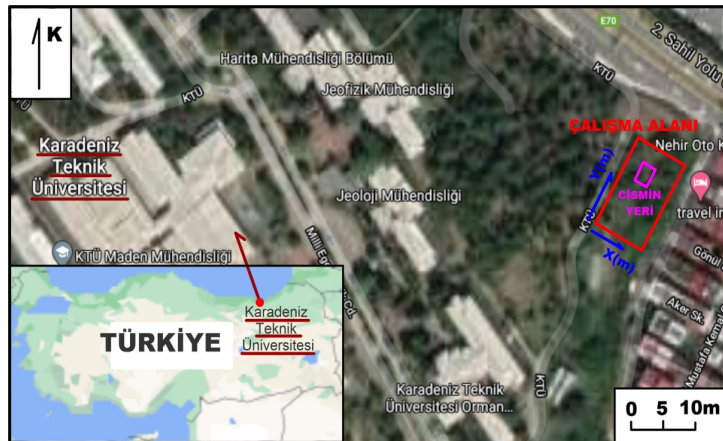
şeklinde tanımlanmıştır [16]. Burada T_x ve T_z , T toplam manyetik anomalinin sırasıyla yatay ve düşey türevleridir. M ise veri sayısıdır. Potansiyel alan değerlerinde uzun dalga boylu olayları tutmak

amacıyla Fourier alt harmonik sayısı genellikle 1 olarak alınır. Fourier üst harmonik sayısı da çoğunlukla deneme-yanılma yoluyla belirlenir [2]. Süzgeçleme fonksiyonu da NTG hesaplamalarında dikkat edilmesi gereken bir parametredir.

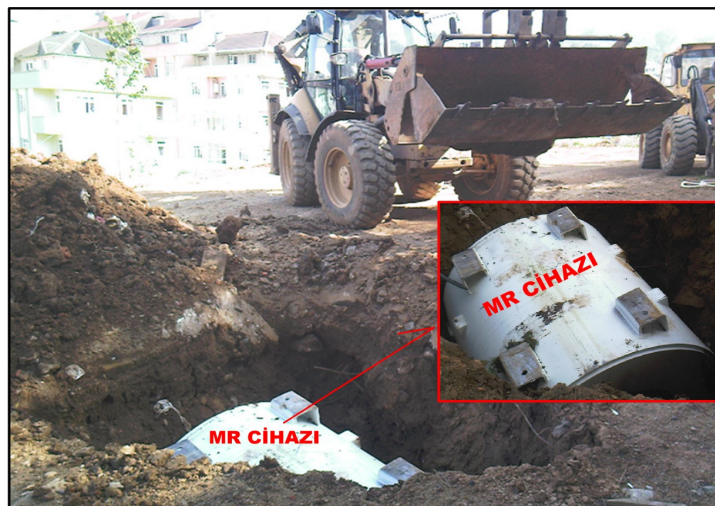
Öncelikle, Şekil 1'de verilmiş olan sentetik çalışma yapılarak, manyetik eğim açısının NTG hesaplamalarındaki önemi anlatılmıştır.

Öncelikle, Şekil 1a'da görüldüğü gibi sentetik bir model hazırlanarak manyetik anomalisi hesaplanmıştır. Şekil 1b'de, manyetik eğim açısı 90° iken yapılan NTG hesabında, aranan kütle için düşey konumu yaklaşık olarak bulunabilmiştir. Şekil 1c'de ise, manyetik eğim açısı 75° olarak anomali hesaplandı ve bu anomali NTG hesabı yapıldı. Ancak, eğim açısındaki az bir değişim sonucunda aranan kütle için düşey konumu belirlenememiştir. Buradan hareketle, bu çalışmadaki arazi çalışmalarında eğim açısı 90° olarak alınmıştır ve hesaplamalar bu şekilde yapılmıştır.

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen arazi ölçümleri Karadeniz Teknik Üniversitesi kampüs alanında bulunan bir test sahasında yapılmıştır (Şekil 2). Test sahasına, çapı 2 m ve boyu 2.5 m olan bir adet MR cihazı yatay bir konumda olacak şekilde gömülmüştür (Şekil 3). MR cihazının üzeri yaklaşık olarak 1.2 m dolgu malzemesi ile örtülmüştür. MR cihazının üzeri malzeme ile doldurulduktan sonra bu sahada toplam manyetik alan ölçümleri alınmıştır. Ölçüm sahası 10×17 m'dir ve bu sahada yapılmış toplam manyetik alan ölçümleri 0.5 m aralıklarla alınmıştır.



Şekil 2. Çalışma alanının yer bulduru haritası.

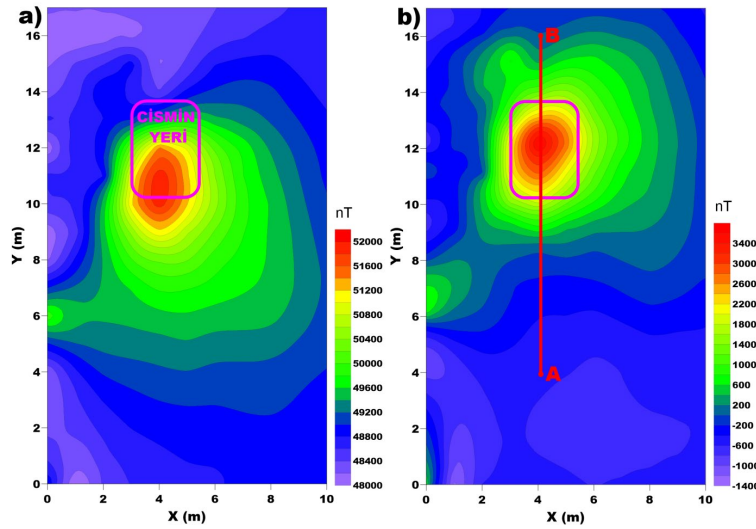


Şekil 3. Gömülü MR cihazının görüntüsü.

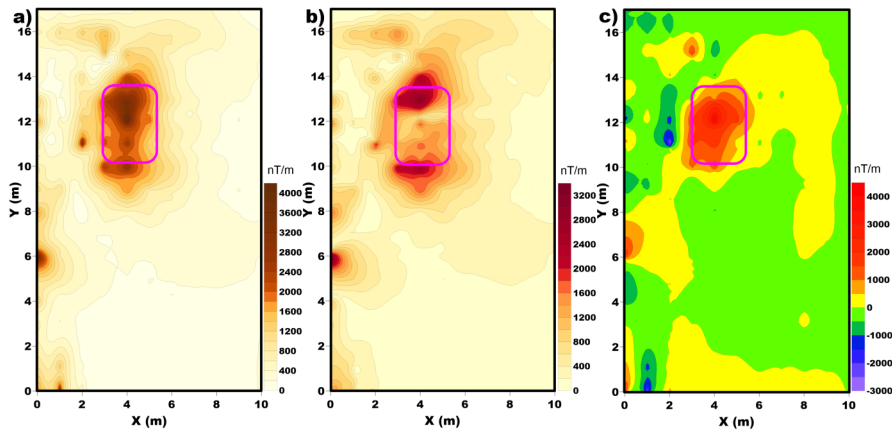
Sahada ölçülen toplam manyetik alan verilerine öncelikle kuzey kutba indirgeme işlemi uygulanmıştır. Şekil 4a' da toplam manyetik anomali değerleri için eğim açısı 59° ve sapma açısı 6° olduğu için gömülü cismin ürettiği anomalinin hedef kütle üzerinden biraz kaymış olduğu görülmektedir. Bu

kaymayı ortadan kaldırmak için, toplam manyetik alan verilerine eğim açısı 90^0 ve sapma açısı 0^0 olacak şekilde kutba indirgeme işlemi uygulanmıştır (Şekil 4b). Bu işlem ile, yüksek genlikler hedef kütle üzerine taşınmıştır. Kutba indirgeme işleminden sonra elde edilen manyetik verilere; AS, TYT ve birinci düşey türev teknikleri uygulanmıştır. TYT ve AS genliklerinin maksimum değerleri, çalışma alanındaki gömülü cismin sınırlarını belirtmektedir (Şekil 5a ve 5b). Birinci düşey türev de sığ kütlelerin etkilerini ön plana çıkarmıştır (Şekil 5c). Böylece gömülü cihazın yanal sınırları belirlenebilmiştir.

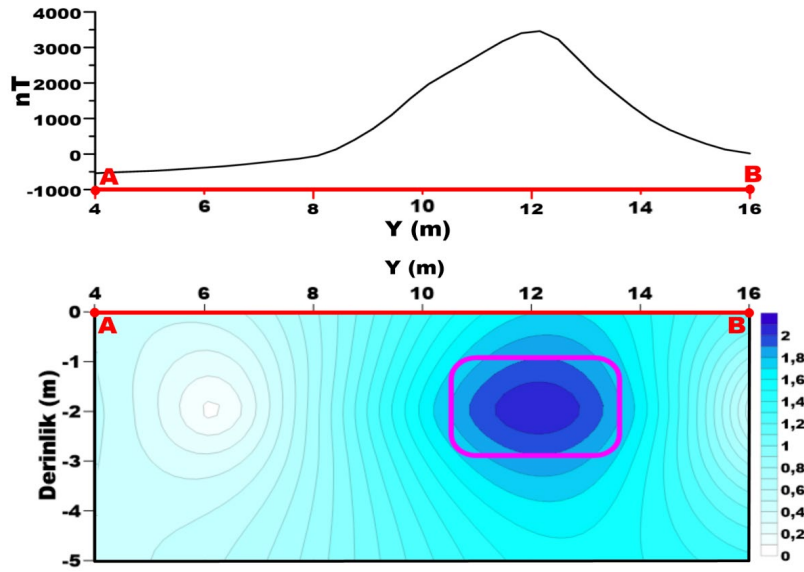
Şekil 4b'deki kutba indirgenmiş manyetik verilerden seçilmiş bir AB profilindeki ayırık veriler kullanılarak NTG hesapları yapılmıştır. Elde edilen NTG verilerinin aşağı doğru analitik uzanımı yapılarak kesitler hesaplanmıştır. Bu kesitler hesaplanırken, belli bir mantık çerçevesinde çok sayıda deneme yapılarak en optimum sonuca ulaşılmıştır. Ulaşılan en optimum sonuç hesabında; süzgeçleme fonksiyonu derecesi = 1, Fourier üst harmonik sayısı = 7 ve manyetik eğim açısı 90^0 'dir. Bu çalışmadaki NTG profil boyu, kütle derinliğinin yaklaşık 10 katı olarak alınmıştır [2]. Pozitif singülarite noktası ve çevresindeki kapanım değerleri, kabaca model kütlelerin düşey konumu ile uyumlu olduğu görülmüştür (Şekil 6).



Şekil 4. a) Toplam manyetik alan anomali haritası, b) Kutba indirgeme işleminden elde edilen anomali haritası.



Şekil 5. Kutba indirgenmiş verilerin; a) AS anomali haritası, b) TYT anomali haritası, c) birinci düşey türev anomali haritası.



Şekil 6. AB profili verileri kullanılarak hesaplanan NTG kesiti.

3. Sonuçlar

Seçilmiş bir test sahasına önceden gömülmüş olan bir MR cihazının yerinin ve derinliğinin belirlenebilmesi için; öncelikle, toplam manyetik alan verilerine kutba indirgeme işlemi yapılarak, manyetik anomali hedef kütle üzerine taşınmıştır. Bu na ilave olarak, manyetik eğim açısının NTG hesaplarındaki önemini ortaya koyabilmek için bir sentetik çalışma yapılmıştır. İkinci olarak, cismin yanal sınırlarını belirleyebilmek için TYT, AS ve birinci düşey türev teknikleri uygulanmıştır. Son olarak da, cismin derinliğini belirleyebilmek için NTG yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen anomali haritaları birlikte değerlendirilerek, yüzeye yakın gömülü cismin yeri ve derinliği başarılı bir şekilde belirlenebilmiştir. Elde edilen sonuçlar, kullanılan tekniklerin bu gibi yüzeye yakın gömülü yapıları araştırmak için bundan sonraki çalışmalarda uygulanabilirliği bir kez daha ortaya konulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Arısoy, M. Ö., Dikmen, Ü., 2011. Potensoft: MATLAB-based Software for potential field data processing, modelling and mapping. *Computer & Geosciences*, 37, 935–942.
- [2] Aydın A.; Evulation of Gravity Data in Terms of Hydrocarbon by Normalized Full Gradient, Variation and Statistic Methods, Model Studies and Application in Hasankale–Horasan Basin (Erzurum). Ph. D. Thesis, Karadeniz Technical University, Natural and Applied Sciences, Trabzon, Turkey, (1997).
- [3] Aydın, A., Sipahi, F., Karşlı, H., Gelişli, K., and Kadırov, F.; Interpretation of Magnetic Anomalies on Covered Fields Using Normalized Full Gradient Method, *International Geoscience Conference and Exhibition*, 15 – 18 September 1997, Moscow, D3. 4p (1997).
- [4] Berezkin, V.M., Filatov, V.G. and Bulychev, E.V. (1994), Methodology of the aero-magnetic data interpretation with the aim of direct detection of oil and gas deposits, *Geofizika*, Nr.5, 38 – 43.
- [5] Bilim, F., & Ates, A. (2003). Analytic signal inferred from reduced to the pole data. *Journal of the Balkan Geophysical Society*, 6, 66-74.
- [6] Bilim, F., & Ates, A. (2005). Analitik Sinyal yöntemlerinin manyetik model verileri üzerinde karşılaştırılması. *İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi*, C. 18, S. 2, SS. 151-162.

- [7] Clarke, G.K.C.; Optimum second – derivative and downward continuation filters. *Geophysics* 34, 424 – 437, (1969).
- [8] Cooper, G. R. J., Cowan, D. R., 2006. Enhancing potential field data using filters based on the local phase. *Computers and geosciences*, 32 (10), 1585-1591.
- [9] Elmas, A. (2018), Kıbrıs Adasındaki Yapısal Süreksizliklerin EGM08 Gravite Verileri Kullanılarak Belirlenmesi, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 42, 17-32 (DOI: 10.24232/jmd.434135)
- [10] Fuller, B.D.; Two–dimensional frequency analysis and design of grid operators. *Mining Geophysics* 2, p. 658 – 708, (1967).
- [11] Pham, L.T; Eldosouky, A.M.; Oksum, E.; Saada, S.A. (2020). A new high resolution filter for source edge detection of potential field data, *Geocarto International*, DOI: 10.1080/10106049.2020.1849414
- [12] Mescó, A.; Digital filtering application in geophysical exploration for oil. *Akademiai Kiado, Pitman Publishing Ltd., and Halstedpress* (1984).
- [13] Nabighian, M.N. (1972). The analytic signal of two dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: its properties and use for automated anomaly interpretation. *Geophysics*, 37, 507-517.
- [14] Nabighian, M.N. (1974). Additional comments on the analytic signal of two dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section. *Geophysics*, 39, 85-92.
- [15] Oksum E., Le D.V., Vu M.D., Nguyen T.H.T., Pham L.T. (2021) (On-line first). A novel approach based on the fast sigmoid function for interpretation of potential field data. *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, DOI: 10.4430/bgta0348
- [16] Oruç, B., Keskinsezer, A. (2007), Normalized Tam Gradyent Yöntemi İle Petrol Sahalarındaki Manyetik Temel Kaya Ondülasyonunun Modellenmesi IPETGAS 2007.
- [17] Pham, L.T., Oksum, E., Do, T.D. (2019). Edge enhancement of potential field data using the logistic function and the total horizontal gradient. *Acta Geodaetica et Geophysica* 54, 143-155.
- [18] Pham, L.T., Oksum, E., Do, T.D., Le-Huy, M., Vu, M.D., Nguyen, V.D. (2019). LAS: A combination of the analytic signal amplitude and the generalised logistic function as a novel edge enhancement of magnetic data, *Contributions to Geophysics and Geodesy* 49(4), 425–440.
- [19] Pham L.T., Oksum E., Do T.D., Le-Huy M., (2018). New method for edges detection of magnetic sources using logistic function. *Geofizichesky Zhurnal* 40(6), 127-135.
- [20] Reid, A. B. Allsop, J. M. Granser, H. Millett, A. J., & Somerton, I. W. (1990). Magnetic interpretation in three dimensions using Euler Deconvolution. *Geophysics*, 55, 80-91.
- [21] Spector, A., & Grant, F. S. (1970). Statistical models for interpretation aeromagnetic data. *Geophysics*, 22, 359-383.
- [22] Thompson, D.T. (1982). EULDPH: A new technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data. *Geophysics*, 47, 31-3.

VAN VE YÖRESİNDE ÜRETİLEN KURUTLARIN BAZI ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

İbrahim ALTUN^{1*}

¹Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Özalp Meslek Yüksek Okulu Gıda İşletme Bölümü, 65100 Van/ Türkiye
Geliş tarihi: 30.04.2021 Kabul tarihi: 06.06.2021

ÖZET

Kurut Doğu Anadolu ve Güneydoğu bölgesinde özellikle küçük yerleşim birimlerinde sütün bol miktarda olduğu yaz aylarında yapılan oldukça koyu kıvamlı bir süt ürünüdür. Bu çalışmada, Van ve yöresinde temin edilen 25 adet kurut örneğinin kimyasal ve mineral madde içeriği belirlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre ortalama kuru madde % 79.35, kül %18.28 olarak tespit edilmiştir. Kurut örneklerinin ortalama kalsiyum, sodyum, magnezyum, potasyum, demir, bakır, mangan, fosfor, çinko değerleri (mg/kg) sırasıyla; 3368.96, 8336.09, 415.06, 2142.35, 24.28, 0.09, 0.03, 1204.40, 0.35 olarak saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kurut; kimyasal özellikler; mineral madde

DETERMINATION OF SOME PROPERTIES OF KURUT PRODUCED IN VAN AND ITS REGION

ABSTRACT

Kurut is a very thick dairy product made in the Eastern Anatolia and Southeastern regions, especially in small settlements, in the summer months when the milk is abundant. In this study, the chemical and mineral content of 25 Kurut samples obtained in Van and its region were determined. According to the analysis results, the average dry matter was 79.35 % and ash was 18.28 %. The average calcium, sodium, magnesium, potassium, iron, copper, manganese, phosphorus and zinc values (mg / kg) of the Kurut samples were respectively; 3368.96, 8336.09, 415.06, 2142.35, 24.28, 0.09, 0.03, 1204.40, 0.35.

Keywords: Kurut; Chemical properties; mineral content

1. Giriş

Günümüz dünyasında insanların doyurulması değil, aynı zamanda dengeli bir şekilde beslenmesinin de önemli bir husus olduğu anlaşılmıştır. Dengeli ve yeterli beslenme için, protein bakımından zengin hayvansal ürünlerin tüketiminin artırılması bir zorunluluktur [1]. Süt ve süt ürünleri, yapısında barındırdığı besin öğeleri sebebiyle dengeli beslenme bakımından insan yaşamında çok önemli bir gıda maddesidir. Özellikle tereyağı, peynir, yoğurt insan beslenmesinde oldukça önemli bir paya sahiptir [2-3-4]. Fermente süt ürünlerinin önemi, sütün bileşiminde bulunan maddeleri tam ve daha yoğun içermelerinden ve sindirimlerinin süte nispeten daha kolay olmasından kaynaklanmaktadır [5].

Kurut, Türkler tarafından uzun yıllardır geleneksel olarak üretilen ve tüketilen fermente bir süt ürünüdür [6]. Moğollar kurut kelimesini Türklerden esinlenerek kullanmışlardır. XIII. yüzyılda Orta

* e-posta¹: ibrahimaltun@yyu.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2519-0800> (Sorumlu Yazar)

Asya’da seyahat eden Avrupalı elçiler, kendi kaynaklarında Kurutu “Grut” olarak ifade etmişlerdir [7].

Dayanıklı bir yoğurt çeşidi olan Kurut, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde çoğunlukla köy ve ilçelerde sütün çok olduğu mevsimlerde üretilen tadı hoş, sulandırıldığında yoğurt gibi koyu kıvamlı bir süt ürünüdür. Yörede mantı, çorba, ve bazı bölgesel yemeklerle (keledoş, sengeser, hangel ve ayran aşısı gibi) beraber tüketime sunulmaktadır. Kurut, üretildiği yörelerde dar gelirli ailelerin temel kış yiyeceğidir. Kurutun en önemli özelliği uygun şartlarda saklandığında birkaç yıl dayanabilmesidir [8-9-10].

Gıdaların erken bozulmasını engellemek, tüketiciye sağlık bakımından güvenli ve kaliteli gıda ürünleri arz etmek amacıyla birçok muhafaza metodu geliştirilmiştir. Bunlardan en eski muhafaza metodu olarak bilinen kurutma işlemi ile çoğu gıdaların bozulma faktörlerine karşı korunması sağlanmaktadır. Gıdaların kurutulması, gıda maddelerinde nemin belli miktarlarda uzaklaştırılması olarak tanımlanır. Bakterilerin çoğu düşük su aktivitesinde ($a_w < 0.85$) gelişemezler. Günümüzde bile değişik gıdaların güneşte kurutulması metodu birçok ülkede hala uygulanmaktadır. Gıdaların kurutulması dayanıklı duruma getirilmesi ilk çağlardan beri uygulanmakta ise de işlemin endüstriyel boyut kazanması ancak 18. yüzyılda gerçekleşmiştir. [11].

Bu bölgede kurut iki yöntemle elde edilmektedir; Yoğurttan Kurut Üretimi, Kurut üretimi için süt sağılıp uygun şekilde süzülükten sonra, kazanlarda 80-90 °C’de 10-15 dk ısı işlem uygulanmaktadır. Daha sonra süt 40°C-43°C’ye soğutulup, % 2 oranında taze yoğurt ile mayalanmakta ve 2-3 saat inkübasyona bırakılmaktadır. Yoğurt elde edildikten sonra ketenden yapılan bez torbalara aktarılıp süzülürken, süzme işlemi yaklaşık 10-20 gün sürmektedir. Suyu iyice uzaklaştırılan yoğurt uygun kaplara konularak içerisine % 1-3 oranında tuz konularak yoğrulmaktadır. Uygun kıvamına gelen süzme yoğurt 30-70 g büyüklüğünde bölünerek elle şekillendirilip, temiz bezler üzerine alınarak 1-2 hafta iyice kuruyuncaya kadar güneşte bırakılarak kurutulmaktadır [12-9]. Kurut üretiminde diğer bir yöntem ise ayrandan Kurut Üretimi; yoğurt elde edildikten sonra yayıkılarak yağı alınmakta, arta kalan ayran ise ısıtılarak çöktürülmekte ve bez torbalara alınarak süzülürken. Daha sonra bu süzüntüye yaklaşık % 2 oranında tuz ilave edilerek elle biçimlendirilmekte ve güneş altında 10-15 gün kurutmaya alınmaktadır. Yaklaşık 16-17 kg yoğurttan 1 kg Kurut elde edilmektedir [13].

Türk Gıda Kodeksi Fermente Sütler Tebliği’ne göre de Kurut, protein oranı fermentasyondan önce veya sonra en az % 5.6 oranına artırılmış geleneksel konsantre fermente süt ürünleri sınıfına dahil edilmektedir [14]. Kurut yüksek fosfor, kalsiyum, potasyum ve protein içeriği, düşük yağ ve su oranı ile besleyici bir üründür [15].

Bozulmadan ve besin değerini kaybetmeden köy şartlarında uzun zaman muhafaza edilmesi, protein miktarının çok olması, hayvansal protein kaynaklarının az olduğu zamanlarda halkın protein gereksinimini karşılaması, özellikle dar gelirli ailelere ek gelir sağlanması, yoğurt mayası olarak kullanılması, yöresel yemeklerin yapımında faydalanılması Kurutu üzerinde durulması gereken bir süt ürünü haline getirmiştir. Bu hususlar dikkate alınarak çalışma planlanmış, kurutun kimyasal ve mineral madde değerinin ortaya konulması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metod

2.1. Materyal

Bu çalışmamızın materyalini oluşturan Kurut örnekleri, Van il merkezi ve çevre ilçeleri (Erciş, Çatak, Özalp, Gürpınar) temsil edebilecek şekilde 25 farklı noktadan temin edilmiştir. Alınan örnekler, plastik ambalajlara konularak, ağzı sıkıca kapatılmış ve numaralandıktan sonra en kısa süre içinde Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü Süt Analiz ve Araştırma Laboratuvarı’na getirilmiş, analizler süresince 4±1 °C’deki buzdolabında bekletilmiştir. Kurutlar, seramik havanlarda tamamen ezilerek toz haline getirildikten sonra analize alınmışlardır. Analizler paralel olarak gerçekleştirilmiştir.

2.2. Yöntem

Kurut örneklerinde kuru madde (Km), [16]'ye, kül, [17]'ye göre belirlenmiştir. Kurut örneklerinin mineral madde analizinde ise, TS 3606'da belirtilen kuru yakma yöntemi uygulanmıştır [18]. Bunun için porselen krozeeye tartılan örnekler öncelikle etüvde kurutulmuş, daha sonra kademeli olarak artan kül fırınında 500-550°C'ye kadar yakılmıştır. Elde edilen küller nitrik asit çözeltisi ile çözündürülmüş ve 1 N nitrik asit çözeltisi ile de 100 ml'lik plastik filtrelere kantitatif olarak aktarılmıştır. Bu çözelti stok örnek çözeltisi olarak kullanılmış ve bundan da uygun seyreltmeler yapılarak analiz örnekleri hazırlanmıştır. Ayrıca, hesaplamalarda kullanılmak üzere, bir şahit örnek de hazırlanmıştır.

Örneklerin Ca, Na, Mg, K, Fe, Cu, Mn, P ve Zn konsantrasyonları Y.Y.Ü. Merkez Laboratuvarı'ndaki Atomik Absorbsiyon Spektrometre cihazı (Thermo Solaar AAS Spectrometry, Type M6 MK2, UK) ile sırasıyla 422.7-285.2-766.5-248.3-324.8-257.6-177.5-213.9 nm dalga boylarında ölçülmüştür. Seyreltme katsayıları göz önünde tutularak hesaplamaları yapılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Çizelge 1. Kurut örneklerine ait bazı kimyasal ve mineral maddelerin analiz sonuçları (mg/Kg)

Örnek No	%Km	%Kül	Ca	Na	Mg	K	Fe	Cu	Mn	P	Zn
1	88.33	22.92	2724.77	7578.70	330.85	2547.41	22.34	0.18	0.02	873.98	0.40
2	89.60	23.05	3797.48	8564.62	425.15	3041.86	15.16	0.37	0.03	815.11	0.39
3	79.72	20.10	3187.30	8767.50	338.70	3149.22	22.68	0.19	0.01	975.82	0.31
4	54.00	13.65	1037.02	8509.32	177.40	777.98	7.51	0.15	0.01	966.60	0.24
5	78.10	18.90	4443.39	8117.41	730.33	2111.11	16.74	0.04	0.05	903.52	0.80
6	87.13	23.19	3408.20	9304.48	491.33	3392.26	43.27	0.08	0.08	1138.15	0.40
7	85.50	22.06	5195.16	8633.08	637.01	3029.60	19.64	0.08	0.04	223.44	0.57
8	56.36	13.37	4251.40	8723.83	332.71	1217.44	10.51	0.05	0.01	868.80	0.30
9	88.36	20.37	3017.36	7710.27	410.42	2185.27	26.74	0.07	0.02	1078.47	0.32
10	71.35	20.30	2163.34	7947.19	285.95	1610.25	14.11	0.03	0.01	237.96	0.19
11	83.45	20.78	2024.23	8382.20	367.48	1621.01	16.80	0.09	0.01	1331.37	0.36
12	84.46	21.93	2785.34	8284.74	312.99	2699.84	24.55	0.10	0.05	1223.56	0.27
13	91.50	23.01	2843.09	8142.34	467.12	1864.11	24.92	0.08	0.01	1398.49	0.28
14	92.06	27.13	2556.02	7967.50	338.53	1961.32	31.76	0.07	0.04	1360.00	0.34
15	60.65	15.57	1170.02	8456.34	220.03	917.29	24.06	0.06	0.01	793.57	0.27
16	54.61	16.25	4931.11	8899.24	346.07	1470.09	23.49	0.07	0.01	1147.55	0.30
17	56.72	15.59	4412.68	8562.97	327.73	1278.78	15.56	0.07	0.01	1191.74	0.32
18	90.40	16.60	3193.46	8578.26	355.17	2959.27	79.41	0.07	0.05	1162.31	0.31
19	79.62	17.33	3718.91	8163.96	433.78	2566.96	25.75	0.06	0.03	1723.42	0.37
20	73.61	12.01	3085.32	8033.48	462.38	1688.07	17.58	0.04	0.01	1498.47	0.37
21	88.26	23.16	8014.32	9319.85	795.52	2795.52	32.24	0.05	0.04	1897.61	0.40
22	86.39	10.36	2476.22	8135.58	499.85	2342.33	29.22	0.11	0.04	1757.05	0.25
23	89.48	9.28	2452.27	7927.42	198.94	1531.51	22.95	0.14	0.05	1792.72	0.43
24	91.73	12.19	4129.61	7761.49	567.15	3172.43	15.54	0.07	0.02	1915.24	0.45
25	82.48	17.94	3205.87	7930.51	523.92	1627.79	24.50	0.07	0.02	1834.95	0.22
Min.	54.00	9.28	1037.02	7578.70	177.40	777.98	7.51	0.03	0.01	223.44	0.19
Max.	92.06	27.13	8014.32	9319.85	795.52	3392.26	79.41	0.37	0.08	1915.24	0.80
Ort.	79.35	18.28	3368.96	8336.09	415.06	2142.35	24.28	0.09	0.03	1204.40	0.35

Bu çalışmada; kimyasal ve mineral madde içerikleri Çizelge 1’de sunulmuştur. Kurut örneklerinde kuru madde en düşük % 54.00 en yüksek % 92.06 ve ortalama % 79.35 olarak saptanmıştır. Elde edilen sonuçlar, kurut üzerinde daha önce yapılan araştırmalarda tespit edilen bulgularla karşılaştırıldığında, [19]’nin bulunduğu % 86.86 ve [20]’nin % 85.51 değerinden daha düşük olduğu görülmektedir.

Analiz edilen kurut örneklerinin; toplam mineral madde miktarını belirleyen külün % oranları en düşük % 9.28 en yüksek % 27.13 ve ortalama % 18.28 şeklinde saptanmıştır (Çizelge 1). Saptanan bu değerler diğer araştırmacılarla karşılaştırıldığında, [21]’in % 12.25±1.50 ve [22]’in % 10.0 olarak bulunduğu değerlerden yüksektir.

Kurut örneklerinin mineral madde değerleri Çizelge 1’de verilmiştir. Kurut örneklerinin en düşük, en yüksek ve ortalama Ca değerleri sırasıyla 1037.02 mg/kg, 8014.32 mg/kg ve 3368.96 mg/kg olarak saptanmıştır. Bu değerler [23]’nin 13968.52 mg/kg olarak bulunduğu değerden düşük, [24]’in 7.03±2.22 mg/kg olarak tespit ettiği değerden yüksektir.

Yapılan çalışmada; Na miktarı en düşük 7578.70 mg/kg en yüksek 9319.85 mg/kg ve ortalama 8336.09 mg/kg tespit edilmiştir (Çizelge 1). Bulunan ortalama değer, [23]’nin 9782.45 mg/kg olarak bulunduğu ortalama değerden düşük, [25]’nin 296± 14.43 mg/kg olarak saptadığı ortama değerden yüksektir. Na miktarındaki bu farklılığın, kurut yapımında kullanılan farklı tuz oranlarından kaynaklandığı söylenebilir.

Magnezyum protein ve nükleik asit metabolizmalarında ve enzim sistemlerinde kofaktör olarak önemli işlevleri bulunan bir mineraldir. Normal inek sütünün magnezyum içeriği 13 mg/100 ml’dir. Fakat keçi sütünün diğer sütlerden daha çok magnezyum içerdiği bildirilmiştir [26]. Analizi yapılan Kurut örneklerinin Mg oranları 177.40 mg/kg ve 795.52 mg/kg arasında olup, ortalama 415.06 mg/kg şeklinde bulunmuştur (Çizelge 1). Bulunan Mg değerleri [23]’nin 432.42 mg/kg olarak bulunduğu ortalama değere benzerlik gösterirken, [24]’in 0.31±0.11 mg/kg ve [25]’nin 157± 5.32 mg/kg olarak buldukları ortalama değerlerden yüksektir.

Kurut örneklerinde ortalama K ve Fe içeriği sırasıyla 2142.35 mg/kg, 24.28mg/kg olarak bulunmuştur. Bu değerlerin [23]’nin bulunduğu ortalama 7012.45mg/kg K değerinden düşük, 6.57 mg/kg Fe değerinden ise yüksektir.

Bakır kazein fraksiyonunda, protein ve enzimler ile birleşmiş katyonik biçimde veya zayıf bağlar yoluyla bazı moleküler kompleksler tarzında görülebilmektedir [27]. Çizelge 1’de izlenebileceği gibi, Kurut örneklerinde Cu değerleri 0.03 mg/kg-0.37 mg/kg arasında olup, ortalama değer 0.09 mg/kg dır. Bulunan ortalama değer, [24]’in 0.02±0.02 mg/kg olarak tespit ettiği ortalama değerden yüksek iken, [23]’nin 2.44 mg/kg olarak bulunduğu ortalama değerden ise çok düşüktür.

Çizelge 1’in incelenmesinden de görüleceği gibi, Kurut örneklerine ait Mn değeri en yüksek 0.08 mg/kg , en düşük 0.01 mg/kg ve ortalama 0.03 mg/kg olarak bulunmuştur. Elde edilen ortalama Mn değerleri [23]’nin 1.25 mg/kg olarak bulunduğu ortalama değerden çok düşüktür.

Kurut örneklerinde ortalama Zn değeri 0.35 mg/kg olarak saptanmıştır. Bu değer, [23]’nin 9.66 mg/kg ve [25]’nin 6.16±0.87 mg/kg olarak bulunduğu ortalama değerlerden düşüktür. Değişik çalışmalarda görülen bu farklılıkların hammadde, alet ve ekipmanlardan kaynaklandığı ön görülmektedir [28-23-29-30].

P değerleri 223.44 mg/kg-1915.24 mg/kg arasında değişmiş ve ortalama 1204.40 mg/kg olarak bulunmuştur (Çizelge 1). [23]’nin ortalama 1060.47 mg/kg olarak bulunduğu değerden yüksektir

4. Sonuç

Gıda maddelerinin bozulmadan saklanması amacıyla bir çok yöntemden faydalanılmaktadır. Bunlardan en çok uygulanan yöntem güneşte kurutmadır. Kurut örnekleri, geleneksel kurutma yöntemi olan güneşte kurutma metoduyla diğer yöntemlere nispeten daha kısa zamanda ve daha verimli bir şekilde kurutulabilir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre, Kurut örneklerinde belirlenen kimyasal içeriklerin ve mineral madde bileşiminin birbirinden farklı olduğu saptanmıştır. Bu farklılığın üretimde hammadde olarak kullanılan sütün bileşimine, laktasyon dönemine, çevre şartlarına, yemlemeye, uygulanan bireysel metotlara, kurut yapım tekniğinin her yerde aynı olmamasına ve ayrıca Kurutların

değişik ortamlarda ve sürelerde muhafaza edilmelerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Kurut yapımında, standart bir üretim tekniğinin belirlenmesi, üretim sırasında ve sonrasında hijyenin sağlanması, kısaca ürünün endüstriye taşınmasıyla, fizikokimyasal ve mikrobiyolojik özellikler açısından daha kaliteli ürünlerin elde edileceği öngörülmektedir.

Kaynaklar

- [1] Küçüköner E, Tarakçı Z. Van ve yöresinde üretilen cacığın (otlu çökelek) bazı özelliklerinin araştırılması, Geleneksel Süt Ürünleri, V. Süt ve Süt Ürünleri Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 21–22 Mayıs, Tekirdağ, Milli Produktivite Merkezi Yayınları 1998; No:621, 175–184, Ankara.
- [2] Altun İ, Köse Şenol. Geleneksel kelle peynirinin bazı özelliklerinin belirlenmesi. *Yyü Tar Bil Derg* 2016; 26, 642-647.
- [3] Tosun F. Türkiye’de süt ve süt ürünleri sektörü ve süt kalitesi. *Standard*, Y/557, Ekim, ISSN 2008;1300–8366, 19–23.
- [4] Tekinşen O. C, Atasever M, Keleş A, Tekinşen K. K. Süt, yoğurt, tereyağı, peynir üretim kontrol. SÜ Basımevi, Konya, 2002.
- [5] Hocalar B, Kemahlıoğlu K, Dokuzoğuz F. Geleneksel bir süt ürünü: Torba yoğurdu, www.gelenekselgidalar.com (Erişim Tarihi: 26 Mart 2010).
- [6] Arat R. R. Eski Türk Yazması Kutadgu Bilig’in Cevirisi. Türk Tarih Kurumu Yayınları Yayın No: 335, Ankara: Türk Tarih Kurumu Basımevi, Basım No 1992; 3, p 321; 1992.
- [7] Patır B, Ateş G. Kurut’un mikrobiyolojik ve kimyasal bazı nitelikleri üzerine araştırmalar. *Türk J Vet Anim Sci* 2002; 26, 785-792.
- [8] Belli O, Çomaklı Z. Geleneksel Erzurum mutfak kültürü ve yemekleri. I. uluslararası Doğu Anadolu bölgesi geleneksel mutfak Kültürü ve yemekleri Sempozyumu 2009; 24-26 Haziran, Bitlis. 172-182.
- [9] Çetinkaya A, Elmalı M, Karadağoğlu G, Yaman H. Kars kremalı kurut. Geleneksel Gıdalar Sempozyumu 23-24 Eylül 2004, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van.
- [10] Kaptan N. Süt Teknolojisi. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları 969, Ders Notu: 18, Ankara, 1986.
- [11] Cemeroglu B, Acar J. Meyve ve sebze işleme teknolojisi. Gıda Teknolojisi Derneği Yayın No. 6, Ankara, 1986.
- [12] Coşkun H, Sarıca E, Büyüktanır B, Baş N, Tanrıku E, Bıçak Nur K, Güzel C, Emecen B. Geleneksel bir ürünümüz olan Katık keşinin bazı özellikleri. *Gıda* 2020; 45, 564-571 doi: 10.15237/gida.GD20033.
- [13] Demirci M. Süt işleme teknolojisi, Hasat Yayıncılık, 246 s, İstanbul, 1997.
- [14] Anonim. Türk Gıda Kodeksi Fermente Süt Ürünleri Tebliği. <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2009/02/20090216-8.htm> (Erişim 18.08.2016).
- [15] Dincel E, Ünver Alçay A. (2017). Kurut ve Türk mutfağında kullanımı. *Aydın Gastronomy* 2017; 1, 31-39.
- [16] AOAC. Official Methods of Analysis, (15th Edition). Association of Official Analysis Chemists 1990; Washington, DC, USA.
- [17] Kurt A, Çakmakçı S, Çağlar A. Süt mamülleri muayene ve analiz metotlar rehberi. 8.Baskı. Atatürk Üniversitesi Yayınları Yay. No: 252-D, Erzurum, 2003.
- [18] Anonim. TS 3606 "Gıdalarda Metal İyonlarının Tayini". Türk Standartları Enstitüsü Bakanlıklar, Ankara, 1995.

- [19] Güven M, Karaca O.B. Compositional properties of dried yoghurt (Kurut) provided from Van and Şırnak. *Gıda / The Journal of Food* 2009; 34, 367-372.
- [20] Akyüz N, Coşkun H, Bakırcı İ, Çon A.H. A study on the Kurut produced in Van and its province. *Gıda / The Journal of Food* 1993; 18, 253-257.
- [21] Soltani M, Güzeler N. İran'da üretilen kurutların bazı kalite özellikleri. *Ç.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2009; 20 , 168-176.
- [22] Kamber U. The manufacture and some quality characteristics of Kurut, a dried dairy product. *Int. J. Dairy Tech* 2008; 61, 146-150.
- [23] Öksüztepe G, incili G. K, Uysal İ. A. Mineral substances and heavy metal levels in cokelek and kurut sold in Elazığ Province, Turkey, *NWSA-Veterinary Sciences* 2013; ISSN: 1306-3111/1308-7339.
- [24] Aydemir-Atasever M. Erzurum ve Bingöl yöresinden toplanan Kurut örneklerinin mikrobiyolojik ve kimyasal nitelikleri (yüksek lisans tezi, basılmamış). A. Ü, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Erzurum; 2007.
- [25] Zhang H, Xu J, Wang J, Menghebilige, Sun T, Li H, Guo M. A survey on chemical and microbiological composition of kurut, naturally fermented yak milk from Qinghai in China. *Food Control* 2008; 19, 578-586.
- [26] Metin M. Süt Teknolojisi Sütün Bileşimi ve İşlenmesi. E.Ü Mühendislik Fakültesi Yayınları, 33:245-275. Bornova, İzmir, 2001.
- [27] Ayar A, Akın N, Sert D. Bazı peynir çeşitlerinin mineral kompozisyonu ve beslenme yönünden önemi. *Türkiye 9. Gıda Kongresi* 2006, 24-26 Mayıs, Bolu.
- [28] Kose Ş, Erim Kose Y, Altun İ. A study on mineral content of whey obtained from Turkish strained yogurt. *Comptes rendus de l'Académie bulgare des sciences agricoles sciences, Food science and technology* 2019; Tome 72, No 12.
- [29] Özlü H, Aydemir-Atasever M, Urçar S, Atasever M. Erzurum'da tüketime sunulan Kaşar peynirlerinin mineral madde içeriği ve ağır metal kontaminasyonu. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 2012; 18, 205-208.
- [30] Vural H. Ağır metal iyonlarının gıdalarda oluşturduğu kirlilikler. *Ekoloji* 1993; 8, 3-8.

ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA KABLOSUZ ŞARJ SİSTEMLERİ VE ÖRNEK BİR SİSTEM İNCELENMESİ

Uğur KIZILDAĞ^{1*}, Ahmet Serdar YILMAZ²

¹⁻² Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, 46040, Türkiye
Geliş tarihi: 03.05.2021 Kabul tarihi: 15.06.2021

ÖZET

Kablosuz güç aktarım sistemleri yaklaşık olarak 20 yıldır kullanılmakta olup 2002 yılından itibaren bu teknoloji elektrikli araçlarda da kullanılmaya başlanmıştır. Lazer, mikrodalga, manyetik indüksiyon ve manyetik rezonans kablosuz güç aktarım sistemleri için kullanılan temel yöntemlerdir. Elektrikli araçların, enerji darboğazı ve çevre kirliliği sorunlarına bir çözüm olarak görülmesi ile birlikte bu araçların bataryalarının temassız sistemlerle şarj edilmesi düşüncesi yaygınlaşmaya başlamıştır. İlk olarak Nikola Tesla tarafından ortaya atılan temassız güç transferi düşüncesi, enerjinin, ortak bir çekirdek üzerinde bulunmayan iki sargı arasında, oldukça büyük bir hava aralığı üzerinden aktarılması ilkesine dayanmaktadır[1]. Bu makale çalışmasında kablosuz güç aktarım sistemlerinin üzerine yapılan çalışmalar araştırılmış ve incelenmiştir. Daha sonra bilgisayar programı ile modelleme ve benzetim yöntemleri kullanılmış ve elde edilen araştırma bulgularına göre karşılaştırma yapılmış ve sonuçlar ortaya konmuştur. Devre benzetim çalışması yapılarak elektrikli araçların şarj sırasında kullanılan kablosuz güç transfer yöntemlerinden hangisinin daha kullanışlı ve verimli olduğunu belirlemek çalışmanın beklenen sonucudur

Anahtar Kelimeler: Endüktif Güç Aktarım Sistemleri, Elektrikli Araç, Kablosuz Güç Transfer Sistemleri, Modelleme

WIRELESS CHARGING SYSTEMS IN ELECTRIC VEHICLES AND A SAMPLE SYSTEM INVESTIGATION

ABSTRACT

Wireless power transmission systems have been used for approximately 20 years and this technology has also been used in electric vehicles since 2002. Laser, microwave, magnetic induction and magnetic resonance are the main methods used for wireless power transmission systems. With the perception of electric vehicles as a solution to energy bottleneck and environmental pollution problems, the idea of charging the batteries of these vehicles with contactless systems has become widespread. The idea of non-contact power transfer, first put forward by Nikola Tesla, is based on the principle of transferring energy over a rather large air gap between two windings that are not on a common core [1]. In this article, studies on wireless power transmission systems have been researched and examined. Then, modeling and simulation methods were used with a computer program and comparison was made according to the obtained research findings and the results were presented. It is the expected result of the study to determine which of the wireless power transfer methods used during the charging of electric vehicles is more useful and efficient by performing a circuit simulation study.

Keywords: Inductive Power Transfer Systems, Electric Vehicles, Wireless Power Transfer Systems, Modeling

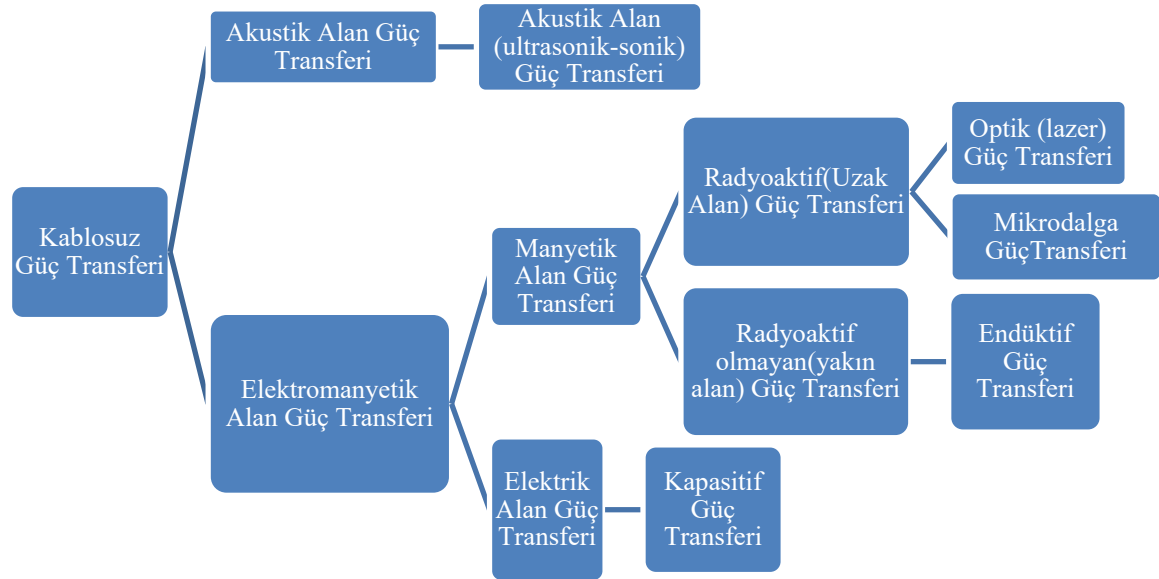
* e-posta¹: ugur.kizildag@hotmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2811-0570> (Sorumlu Yazar)

e-posta²: asyilmaz@ksu.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5735-3857>

1. Giriş

Kablosuz güç transferi, elektrik enerjisinin bir güç kaynağından elektrik yüküne herhangi bir kablo kullanılmadan iletilmesidir. Günümüzde kablosuz güç aktarım teknolojisi mobil cihazlarda, endüstriyel ve tıbbi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Çoğu elektrik ve elektronik cihazların bataryalarının şarj edilebilmesi çoğunlukla kablolu şarj cihazları kullanılmaktadır. Bu kablo kalabalığından ve kirliliğinden kurtulmak için kablosuz güç transferi, elektronik cihazların daha rahat kullanılmasını sağlayan bir alternatif haline geldiği görülmektedir. Kablosuz güç transfer sistemleri gelişen teknolojik gelişmelere bağlı olarak tıbbi implantların, ev aletlerinin ve elektrikli araçların (EA'lar) şarj edilmesi gibi birçok alanda faydalı bir şekilde kullanılmaktadır. Kablosuz güç transferi kullanıcıya bunun gibi birçok avantaj sunmaktadır[2]. Kablosuz güç transferinde çok fazla güç kullanmak için yapılan ilk çalışma kayıtları arasında, 1980'de yapılan ve Sovyetler Birliği'ndeki bir madende çalışan elektrikli trenlere kablosuz güç transferi ile enerji sağladığı bilinmektedir. 1990'larda yapılan çalışmada ise 20 kHz veya daha yüksek frekanslarda çok büyük miktarlarda akımları kontrol etmek mümkün olup, bu da kablosuz güç transferi yeniliğini hızla geliştirmiştir[3]. Kablosuz güç transfer sistemleri ile ilgili son dönemde yoğun şekilde başlayan çalışmaları etkileyen olay ise 2007 yılında Massachusetts Teknoloji Enstitüsü 'de bir grup araştırmacının başarılı bir şekilde 60 W gücündeki enerjiyi %40 verimle 2 metreyi aşan mesafeye aktarmasıdır[4].

Kablosuz güç aktarım sistemleri Şekil 1'de gösterildiği gibi akustik güç transferi, optik güç transferi, mikrodalga güç transferi, endüktif güç transferi ve kapasitif güç transferi şeklinde sınıflandırılabilir[5].



Şekil 1. Kablosuz güç transfer sisteminin sınıflandırılması[5]

Akustik güç transfer sistemleri, gücü transfer etmek için ses ve ultrasonik ses dalgalarını kullanır. Optik güç aktarım sistemi, gücü aktarmak için esas olarak yüksek frekanslı elektromanyetik dalga olan terahertz (THz) aralığında lazer ışığı kullanır. Mikrodalga güç transferi, gigahertz (GHz) aralığında elektromanyetik dalgayı kullanan radyo frekansı güç transferi olarak da adlandırılır[6]. Kapasitif güç transferi sistemleri, güç transferi için yüksek verimli elektrik alanları elde etmek için kullanılır[7].

1.1 Kablosuz Güç Transfer Teknolojilerinin Karşılaştırması

Kablosuz Güç Transfer teknolojilerinin beş kategorisinin karşılaştırması Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1.Kablosuz güç teknolojilerinin karşılaştırılması[8].

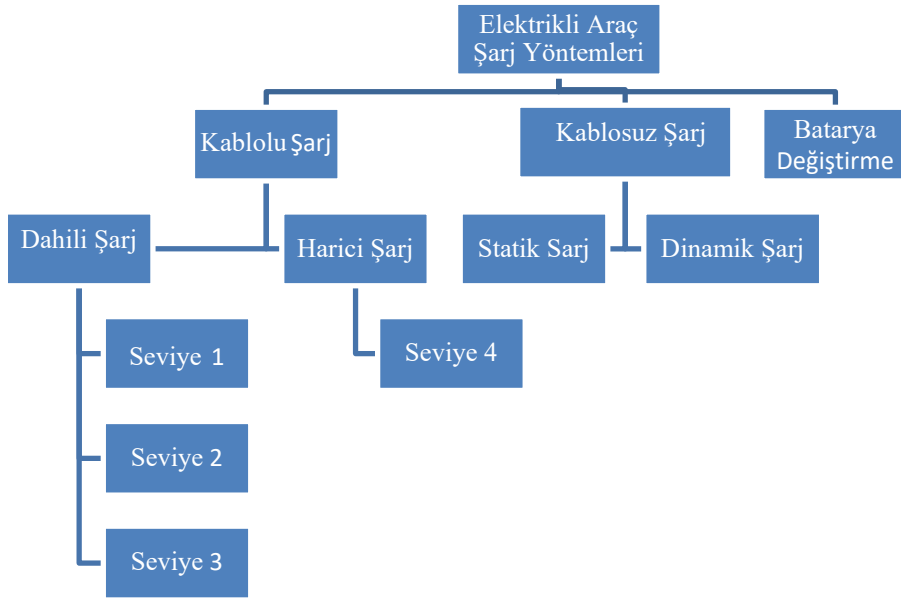
Teknoloji	Akustik	Optik	Mikrodalga	Endüktif	Kapasitif
Frekans	kHz MHz	THz	GHz	kHz MHz	kHz MHz
Güç	Orta	Düşük	Yüksek	Yüksek	Orta
Verimliliği	Orta	Düşük	Düşük	Yüksek	Yüksek
Mesafe	Uzun	Uzun	Uzun	Orta	Orta
Maliyet	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Orta	Düşük
Boyutu	Küçük	Küçük	Büyük	Orta	Orta
Uygulama alanları	Biyomedikal , Su altı	Biyomedikal , Uzay, Su altı	Hücrel ve Sensör Ağı, Uzay	Biyomedikal , Taşınabilir cihazlar, Elektrikli araçlar	Biyomedikal , elektrikli makine, Elektrikli araçlar

Çizelge 1'de de gösterdiği gibi, her yöntemin farklı özellikleri vardır. Dolayısıyla mutlak bir en iyi yöntem yoktur. Her yöntem farklı uygulama alanları için uygundur. Endüktif güç transferinin avantajı, yüksek verimliliği ve yüksek güç kapasitesidir. Ayrıca ticari olarak en başarılı kablosuz güç aktarım teknolojisi olmuştur. Uygulama alanları yaygın olarak entegre devreleri, biyomedikal cihazları, sensör ağları, taşınabilir elektronik ürünleri ve elektrikli araçlarıdır. Sistem verimliliği devre rezonansları ve yük koşulu ve transfer mesafesi düzenli şekilde ayarlandığı anda % 90'ın üzerinde DA-DA verim elde edilebilir. verimliliği önemli ölçüde etkilemeden ara rezonans bobinleri kullanılarak mesafe daha da uzatılabilir. Teknolojik özelliklerinden dolayı endüktif güç transfer ile bir sisteminin elektrikli araç şarj uygulaması için kablosuz güç transferini gerçekleştirmek için iyi bir çözüm olduğu sonucuna varılabilir[8].

1.2 Elektrikli Araçlarda Kullanılan Şarj Yöntemleri

Elektrikli araçlar da etkin olarak kullanılan Şekil 2'de gösterildiği gibi şarj yöntemi olarak batarya değişimi, kablolu şarj ve kablosuz (endüktif) şarj olmak üzere üç farklı yöntem vardır[9].

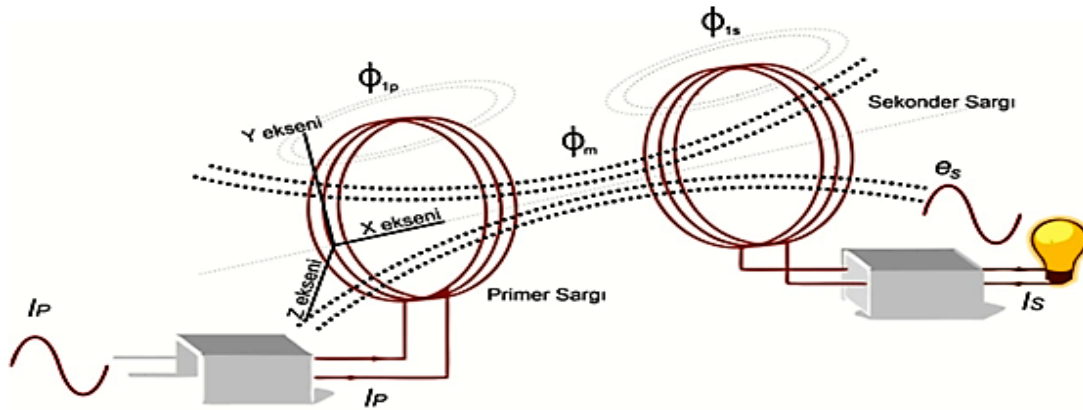
Bu çalışmada elektrikli araçların kablosuz güç aktarım yöntemleri incelenmiş ve elektrikli araçlar için Çizelge 1 de belirtilen özelliklerinden dolayı en uygun metot olan endüktif kablosuz güç transferine genel bir bakış açısı yapıp örnek bir kablosuz güç transfer devresi bilgisayar programında modellenerek, devrenin teknik verilerine göre matematiksel hesaplamalar yapıp ve benzetim sonuçları elde edilmiştir.



Şekil 2. Elektrikli araçlarda kullanılan şarj yöntemleri[9]

2. Materyal ve Metot

Endüktif güç transferi sistemi, güç transferini gerçekleştirmek için tipik olarak kHz ila MHz aralığında radyoaktif olmayan manyetik alan kullanır. Devrede rezonanslar olduğu için buna manyetik rezonans da denilir. İki düzlemsel bobin, manyetik alan oluşturmak için manyetik veya endüktif kuplör adı verilen gevşek bağlı bir transformatör oluşturur. Bobinler arasında büyük bir hava boşluğu olduğu için manyetik bağlantıları nispeten düşüktür[10]. Elektrikli araçların ve diğer tüketici ürünlerinin kablosuz şarjı için endüktif güç aktarım sistemini geliştirmek ve kabul etmek yüzyıldan fazla sürse de, temel fikir, köklü Ampere'nin dolaşım yasasına ve Faraday'ın indüksiyon yasasına dayanmaktadır. Sistemin temel yapısı Şekil 3'de gösterilmektedir[11].

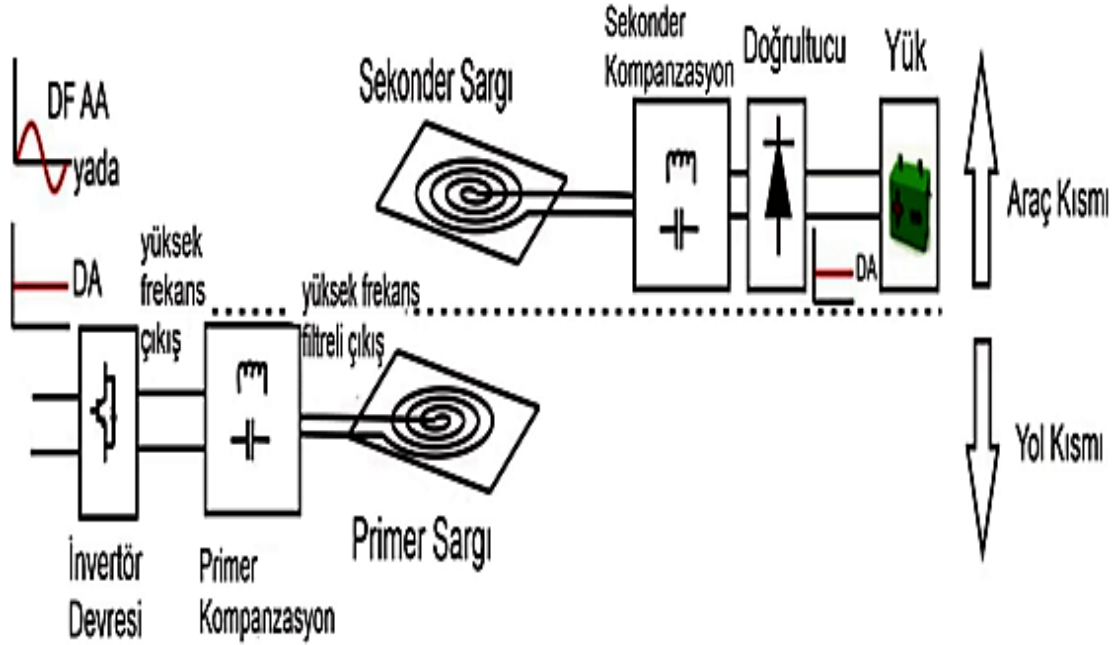


Şekil 3. Endüktif güç aktarım sisteminin yapısı[11]

Şekil 3'de endüktif kuplaj ile bağlanmış iki bobini göstermektedir. Burada, alt simge P ve S sırasıyla primer ve sekonder bobini ifade eder. Φ_m , Φ_{IP} ve Φ_{IS} terimleri sırasıyla karşılıklı akı, primer kaçak akısı ve sekonder kaçak akısıdır. M , L_p , L_s sırasıyla karşılıklı endüktans, primer bobinin öz endüktansı ve sekonder bobinin öz endüktansını ifade etmektedir.

Primer bobine zamanla değişen bir akım uygulandığında, primer bobini çevreleyen bölgede aynı frekansta zamanla değişen bir akı üretilir. Kapalı bir yol etrafındaki manyetik alanın kuvveti, bobin tarafından taşınan akımla doğru orantılıdır ve Ampere yasası ile bulunabilir[12].

EA pil şarjı için endüktif güç aktarım sisteminin geliştirilmiş bir blok diyagramı Şekil 4'de ki gibi çizilebilir[11].



Şekil 4.EA pil şarjı için endüktif güç transfer sisteminin geliştirilmiş blok şeması[11]

Genellikle olarak aracın altına monte edilen alıcı bobin, salınan manyetik akı alanlarını yüksek frekanslı AA'ya dönüştürür. Yüksek frekanslı AA daha sonra yerleşik piller tarafından kullanılan kararlı bir DA kaynağına dönüştürülür. Manyetik düzlemsel ferit plakalar, herhangi bir zararlı sızıntı akısını azaltmak ve manyetik akı dağılımını iyileştirmek için hem verici hem de alıcı tarafında kullanılır[13].

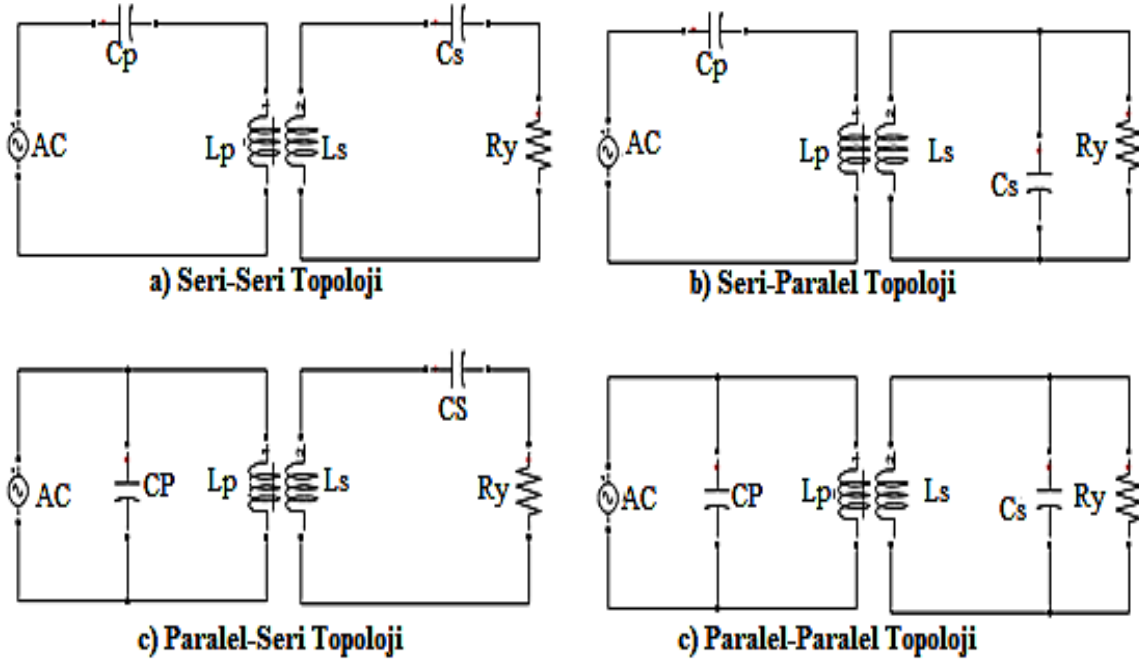
Daha sonra enerji, primer bobin akımı tarafından hava boşluğunda üretilen akı yoluyla primer bobine karşılıklı olarak bağlanan sekonder bobin aracılığıyla araç tarafına aktarılır. Sekonder bobin tarafından alınan enerji daha sonra sistemin güç aktarım kapasitesini iyileştirmek için eklenen sekonder kompanzasyon devresi tarafından işlenir [14].Son olarak, bu şekilde alınan gerilim, yük (piller) tarafından kullanılabilir hale getirilecek şekilde düzeltilir[15].

Elektrikli araçlara güç sağlamak için manyetik olarak bağlı sistem kullanılması durumunda, yol yüzeyinde tutarsızlığa ve yol ile araç arasında daha iyi açıklığa izin vermek için büyük bir hava boşluğu gereklidir. Bu büyük hava boşluğu nedeniyle, sızıntı akısı çok yüksektir ve bağlantı katsayısı % 1 ile % 3 arasındadır. Bu tür uygulamalar gevşek bağlı sistemler altında sınıflandırılır. Gevşek bağlanmış sistemlerde zayıf bağlantı, zayıf güç aktarımına yol açar. Kuplajı iyileştirmek ve kaçak endüktansı kompanze etmek için, primer ve sekonder sargılarda kapasitif kompanzasyon gereklidir[16]

2.1 Kompanzasyon Topolojileri

Kondansatör olan dengeleyici ağlar, bobin endüktansı ile rezonansa girecek şekilde yapılıp, böylece bir rezonans endüktif bağlantı oluşturulur. Primer ve sekonder bobinlerdeki kompanzasyon kapasitörünün bağlantısına bağlı olarak, dört tip rezonans endüktif bağlantı tanımlanabilir. Bunlar

şekil 5’de gösterildiği gibi Seri-Seri (SS), Seri-Paralel (SP), Paralel-Seri (PS) Paralel- Paralel (PP) bağlantıdır[17].



Şekil 5. Kompanzasyon topolojileri

2.1.1 Seri Seri Topoloji

Bu topoloji primer bobinde, primer gerilimi azaltmaya yardımcı olur ve kullanıcı talebine bağlı olarak sekonder bobin, seri olarak kompanse edilirse, çıkış geriliminin dengelenmesine yardımcı olabilir. Bu yöntemde, kondansatörler primer bobinde seri olarak endüktansa ve sekonder bobinde aynı bağlantıya bağlanır[19]. Şekil 5.a’da gösterildiği gibi bu topoloji, çoğunlukla kararlı bir gerilim gerektiren ve çoğunlukla benzersiz frekans nedeniyle tüketiciler tarafından tercih edilmektedir.

Seri - seri topoloji bir "akım kaynağı" gibi çalışır. Frekans yüksek ve yük direnci yeterince düşük olduğu sürece sabit bir çıkış akımı verir. Denklem (1) ile hesaplanır.

$$I_{Load} = \frac{1}{\omega_0 M} V_1 \quad (1)$$

2.1.2 Seri Paralel Topoloji

Bu topoloji, Şekil 5.b’de gösterildiği gibi Seri-Serisi topolojisinin primer bobini olarak tipik bir yapıya ve kompanzasyona sahiptir. Sekonder bobinde ise kapasitör paralel olarak bağlanır ve böylece kararlı bir akım çıkışı sağlar[19,20]. Bu kompanzasyonlar, araç sistemleri gibi çoklu yüklerle sahip sistemler için tasarlanmıştır.

Çıkış geriliminin genliği yaklaşık olarak denklem (2) ile hesaplanabilir.

$$V_{yük} = \frac{L_s}{M} V_1 \quad (2)$$

2.1.3 Paralel Seri Topoloji

Bu yapılandırma, kapasitörlerin primer bobinde paralel bağlanırken sekonder ise seri şekilde

bağlanır. Burada sistem bir gerilim kaynağı görevi görür, ancak çıkış gücü primerdeki paralel bağlantı nedeniyle azalacaktır[20]. Birincildeki paralel kapasitör akımı düşürür, böylece Şekil 5.c'de gösterildiği gibi manyetik alan gücünü azaltır. Çıkış geriliminin genliği yaklaşık olarak denklem (3) ile hesaplanabilir.

$$V_{yük} = \frac{M}{L_p} V_1 \quad (3)$$

2.1.4 Paralel Paralel Topoloji

Şekil 5.d'de gösterildiği gibi kapasitörler hem primer hem de sekonder bobinlere paralel bağlanmıştır. Bu bağlantıda düşük bir verimlilikle çok zayıf bir performans elde edilmektedir. Bu nedenle daha az sıklıkla kullanılır

Her iki kapasitör de aynı değerlere sahiptir. Paralel-Paralel topoloji bir "akım kaynağı" gibi davranır ve sabit bir çıkış akımı üretir. Çıkış akımının genliği aşağıdaki denklem(4) ile yaklaşık olarak bulunabilir[20].

$$I_{yük} = \frac{1}{\omega_0(L_p L_s - M^2)} V_1 \quad (4)$$

Çizelge2. Kompanzasyon topolojisinde kondansatör (C) ve kalite katsayısı(Q) hesabı[21].

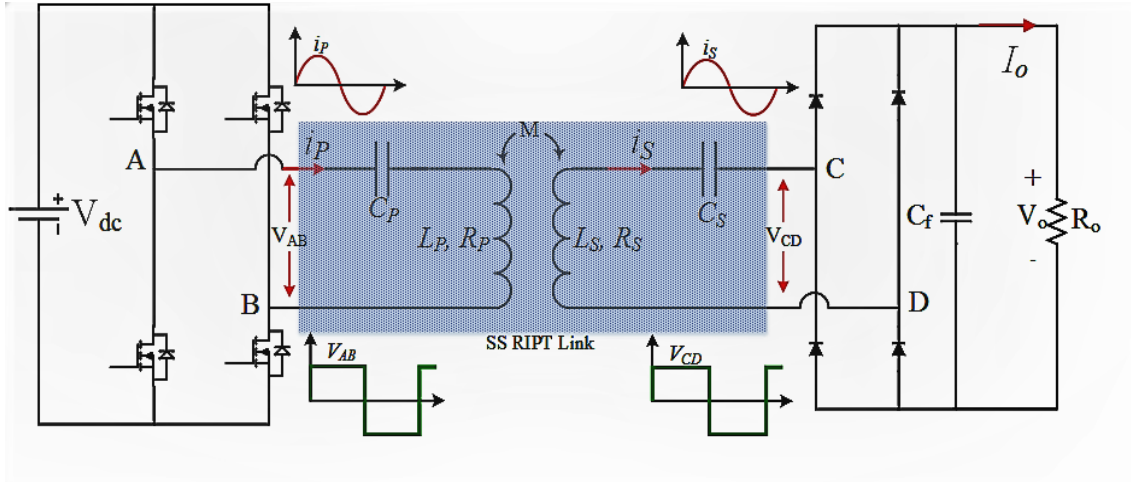
Topoloji	Primer Kapasitans, C_p	Sekonder Kapasitans, C_s	Primer Kalite Katsayısı, Q_p	Sekonder Kalite Katsayısı, Q_s
Seri-Seri	$\frac{1}{\omega_0^2 L_p}$	$\frac{1}{\omega_0^2 L_s}$	$\frac{R_L L_p}{\omega_0 M^2}$	$\frac{\omega_0 L_s}{R_L}$
Seri-Paralel	$\frac{1}{\omega_0^2 \left(L_p - \frac{M^2}{L_s} \right)}$	$\frac{1}{\omega_0^2 L_s}$	$\frac{\omega_0 L_p L_s^2}{M^2 R_L}$	$\frac{R_L}{\omega_0 L_s}$
Paralel-Seri	$\frac{1}{\omega_0^2 L_p}$	$\frac{1}{\omega_0^2 \left(L_s - \frac{M^2}{L_p} \right)}$	$\frac{R_L L_p}{\omega_0 M^2}$	$\frac{\omega_0 L_s}{R_L}$
Paralel-Paralel	$\frac{1}{\omega_0^2 \left(L_p - \frac{M^2}{L_s} \right)}$	$\frac{1}{\omega_0^2 \left(L_s - \frac{M^2}{L_p} \right)}$	$\frac{\omega_0 L_p L_s^2}{R_L M^2}$	$\frac{R_L}{\omega_0 L_s}$

Seri-Seri topoloji seçeneği yük ve manyetik bağlantı ne olursa olsun sadece öz endüktansına bağlı olarak kompanzasyon kapasitanslarının seçilmesine izin verir. Bu nedenle, bobin arasında yanlış hizalamalar olması durumunda, karşılıklı endüktans değişikliklerine rağmen sistem rezonans altında çalışmaya devam eder. Bundan dolayı, Seri-Seri topolojisi EA pil şarjı için uygun hale gelmektedir[21]. Bir Seri-Seri rezonans endüktif bağlantı teorik olarak verimlilik, bileşen sayısı, kontrolün karmaşıklığının azlığı ve maliyet açısından en iyisidir ve bu nedenle hazırlanan bu çalışmada Seri-Seri endüktif bağlantılı devrenin üzerinde benzetim çalışması yapılmıştır.

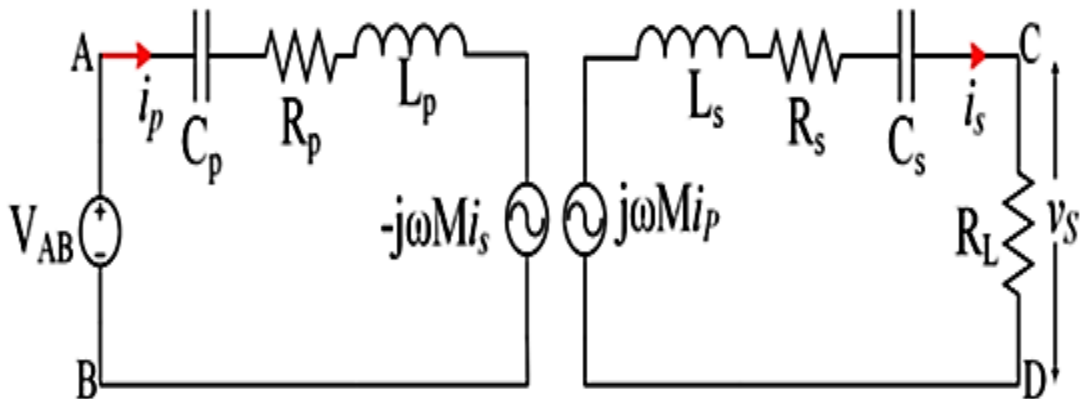
3. Örnek Bir Kablosuz Güç Transfer Sisteminin Benzetim Programı İle Çalıştırılıp İncelenmesi

Şekil 6'da bir seri-serisi kompanze edilmiş rezonant endüktif güç transfer sisteminin eşdeğer devresi gösterilmektedir. Seri-serisi kompanze edilmiş rezonant endüktif güç transfer bağlantısının primer tarafı, doğru gerilimi V_{DC} 'yi yüksek frekanslı Alternatif gerilime V_{AB} 'ye dönüştüren gerilim kaynaklı tam köprü eviriciden beslenir. Sekonder tarafta, kapasitif filtrelili C_f bir doğrultucu, yüksek frekanslı gerilimi yükün R_o gerektirdiği doğru gerilim V_o ve doğruakım I_o 'ya dönüştürür. Seri-Seri topolojisi, ideal rezonans koşulunda primer gerilim kaynağından beslendiğinde bir akım kaynağı görevi görür. Bu nedenle basit bir kapasitif filtre yeterlidir. Tam köprü evirici, sonsuz sayıda harmonik içeren bir kare dalga gerilimi V_{AB} üretir.

Bununla birlikte, Seri-Seri endüktif güç aktarım bağlantısı, primer besleyen güç elektroniği dönüştürücüsünden üretilen istenmeyen frekans bileşenlerini bloke eden bir bant geçiş filtresi görevi görür. Bu nedenle, endüktif güç aktarım bağlantısından geçen akım neredeyse sinüzoidaldir. Bu, Seri-Seri-endüktif güç aktarım bağlantısının parametrelerini hesaplamak için birinci harmonik yaklaşım yönteminin kullanılmasına izin verir[22].



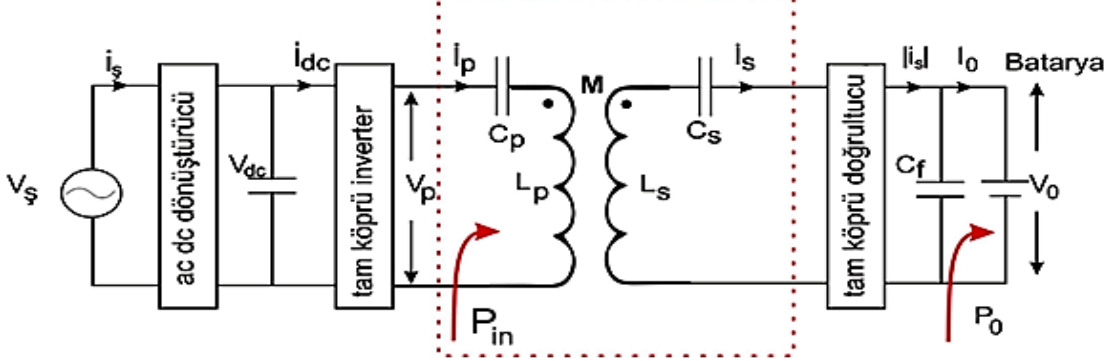
Şekil 6. Seri-Seri kompanze edilmiş rezonant endüktif güç transferi sisteminin eşdeğer devresi[11]



Şekil 7. Seri-Seri endüktif güç aktarım devresinin basitleştirilmiş eşdeğer modeli[11]

3.1 Elektriksel Parametrelerin Hesaplanmasında

Şekil 8’de SS-endüktif güç aktarım tabanlı bir kablosuz şarj cihazının blok şemasını ve bileşenlerini gösterilmektedir. Amaç, belirli bir yük (batarya) için SS-endüktif güç aktarım bağlantısının (kırmızı noktalı kutuda gösterilen) parametrelerini hesaplamaktır.



Şekil 8.SS-endüktif güç aktarım tabanlı bir kablosuz şarj cihazının blok şeması[11]

SS-endüktif güç aktarım bağlantısının parametrelerinin hesaplanmasını basitleştirmek için aşağıdaki varsayımlar yapılmıştır[11].

- (1) SS-endüktif güç aktarım bağlantısının verimliliğinin% 100 olduğu varsayılır. Bu varsayım, bağlantı tasarımından önce bobin direncinin değeri bilinmediğinden ve bu nedenle ihmal edilebilir olduğu varsayıldığından geçerlidir.
- (2) Yalnızca giriş gerilimi V_p 'nin temel bileşeni (ilk harmonik) ve SS-endüktif güç aktarım bağlantısının çıkış gerilimi dikkate alınır ve yüksek dereceli harmonikler ihmal edilir. Diğer bir deyişle, sinüzoidal olarak değişen primer ve sekonder akımlar elde etmek için primer ve sekonder devrenin kalite faktörünün yüksek olduğu kabul edilir.
- (3) Tüm anahtarlama elemanları, sıfır komütasyon süresi (anında açma ve kapama) ve sıfır ile ideal kabul edilir. Diğer bir deyişle, tüm dönüştürücülerin% 100 verimli olduğu varsayılır.
- (4) SS-endüktif güç aktarım bağlantısına giriş geriliminin büyüklüğü, yani V_p , şebeke (besleme) gerilim büyüklüğü V_s 'ye eşit kabul edilir. Bu varsayım, şebeke beslemesi ile tam köprü evirici arasında genellikle bir güç faktörü düzeltme aşaması olduğu için geçerlidir. Bu aşamada, V_p 'yi şebeke gerilimine eşit verecek şekilde tam köprü evircinin tör DA bağlantı gerilimi, V_{DC} 'yi ayarlayabilir.
- (5) Primer ve sekonder tarafta ideal rezonans varsayılır. İstenen çıkış gücünün P_o olmasına izin verin. Yük bir pil paketi olduğundan, pil takımının üreticisi tarafından tanımlandığı gibi şarj gerilimi bilinir. V_o , nominal şarj gerilimi veya çıkış gerilimi ifade edecek olursa. DA direnci (akü direnci) R_o denklem(5) ile hesaplanabilir

$$R_o = \frac{V_o^2}{P_o} \quad (5)$$

Bir diyotlu doğrultucu ve kapasitif bir çıkış filtresi ile bir DA direnç yükünün Alternatif Akım eşdeğeri denklem (6) ile verilebilir. Bu, SS-endüktif güç aktarım bağlantısının sekonder tarafından görülen direncin değeridir[11].

$$R_O = \frac{8 V_O^2}{\pi^2 P_O} \quad (6)$$

Sekonder gerilim V_S , kapasitif çıkış filtresi nedeniyle bir kare dalgadır. V_S temel bileşenin RMS değeri denklem (7) ile verilebilir. Sekonder akım i_S , 'nin RMS değeri denklem (8) ile hesaplanabilir.

$$V_{Srms} = \frac{2\sqrt{2}V_O}{\pi} \quad (7)$$

$$I_{Srms} = \frac{V_{Srms}}{R_L} \quad (8)$$

1. Varsayımdan, P_O değeri P_{in} 'e eşittir. V_p 'nin şebeke gerilimi V_S 'ye eşit olduğu varsayıldığından, primer akımın RMS değeri denklem (9) ile verilebilir:

$$I_{Prms} = \frac{P_{in}}{V_{Prms}} \quad (9)$$

Primer ve sekonder akımın değeri bilindiğinde, istenen çıkış gücü miktarı için karşılıklı endüktans değeri, SS-endüktif güç aktarım bağlantısının sekonder tarafında Kirchhoff'un gerilimler kanunu denklemi uygulanarak türetilebilir. Şekil 8'den, rezonans frekansında, $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_S C_S}}$ aşağıdaki denklem (10) yazılabilir:

$$|j\omega_0 M i_P| = R_L |i_S| \quad (10)$$

Sekonder endüktans, sekonder kalite faktörü Q_S 'den hesaplanır. Daha önce değinildiği gibi, daha yüksek bir değer sistemin ayarını zorlaştırabileceğinden ve daha düşük bir akım ve gerilim dalga formunda harmonikler oluşturacağından, Q_S 'nin değeri 2 ila 10 arasında seçilmelidir. Denklem (11) gerekli sekonder endüktans değerini verir.

$$L_S = \frac{Q_S R_L}{\omega_0} \quad (11)$$

Birleştirme katsayısı k değeri denklem (12)'den hesap edilebilir.

$$k < \frac{1}{Q_S} \sqrt{1 - \frac{1}{4Q_S^2}} \quad (12)$$

Denklem (12), primer ve sekonder bobinler arasındaki minimum hava boşluğu hesap edilebilir. Aynı zamanda, sistemin çatallanma moduna girmesine izin verecek olan ve bu nedenle mümkün olduğu kadar yüksek bir bağlantı katsayısına sahip olmanın iyi bir tasarım uygulaması olmadığını ve bundan kaçınılması gereken bir bağlantı katsayısının maksimum bir değeri olduğunu ifade etmektedir. Bu SS-endüktif güç aktarım sistemi gibi gevşek bağlanmış bir sistem ile mümkün olduğunca yüksek bir kuplaja sahip olmanın istenildiği güç transformatörleri gibi yakından bağlanmış bir sistem arasındaki önemli bir farktır [11]. k değerine karar verildikten sonra, primer endüktans değeri denklem (13) kullanılarak hesaplanabilir.

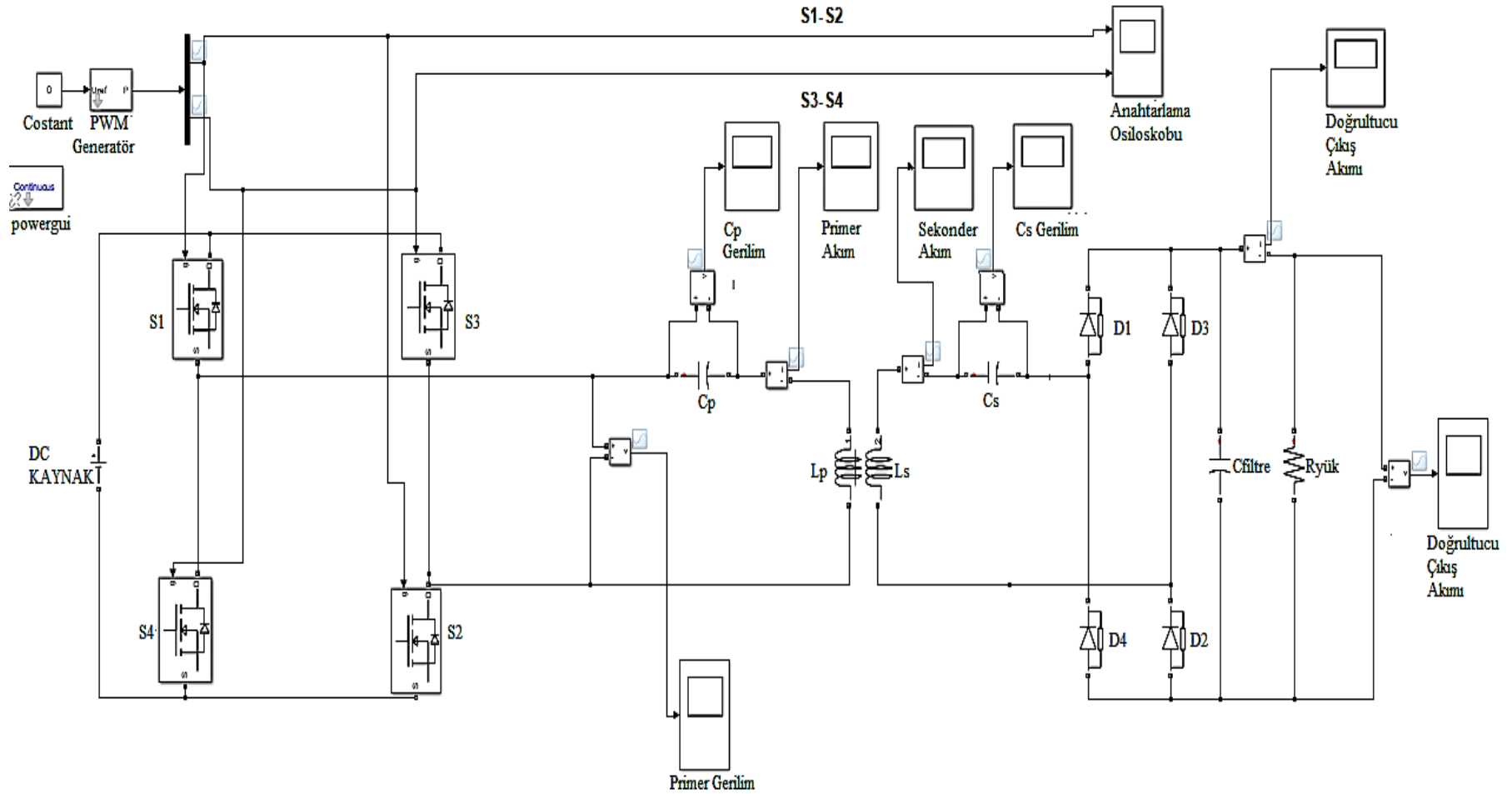
$$L_P = \frac{M^2}{L_S k^2} \quad (13)$$

3.1.1 Elektriksel Parametrelerin Hesaplanması yapılan devrenin Matlab/Simulink Programında Çizimi

Elektrik parametreleri, belirlenen şarj gerilimi için hesaplanır. 16 cm uzaklıktan 240 volt giriş gerilimi ile 168 V çıkış gerilimi (V_o) elde etmek için 3,6 kW'lık bir şarj cihazı SAE J1772 şarj standartlarına göre AA seviye 2 şarj cihazı kategorisine girmektedir. Temel cihazın RMS değeri primer geriliminin V_p bileşeninin 240 V olduğu varsayılır. 40 kHz'lik bir rezonans frekansı ve Sekonder kalite faktörü 4'e eşit Q_s kabul edilir. Ayrıca benzetim çalışmasının ideal şartlarda yapıldığı kabul edilerek R_p ve R_s değerleri de 0 olarak kabul edilmiştir. Benzetimi yapılan devrenin teknik özellikleri ve matematiksel hesaplamaları Çizelge 3 'de gösterilmiştir.

Çizelge 3. Benzetimi yapılan devrenin verilen/hesaplan ve benzetim ölçüm değerleri

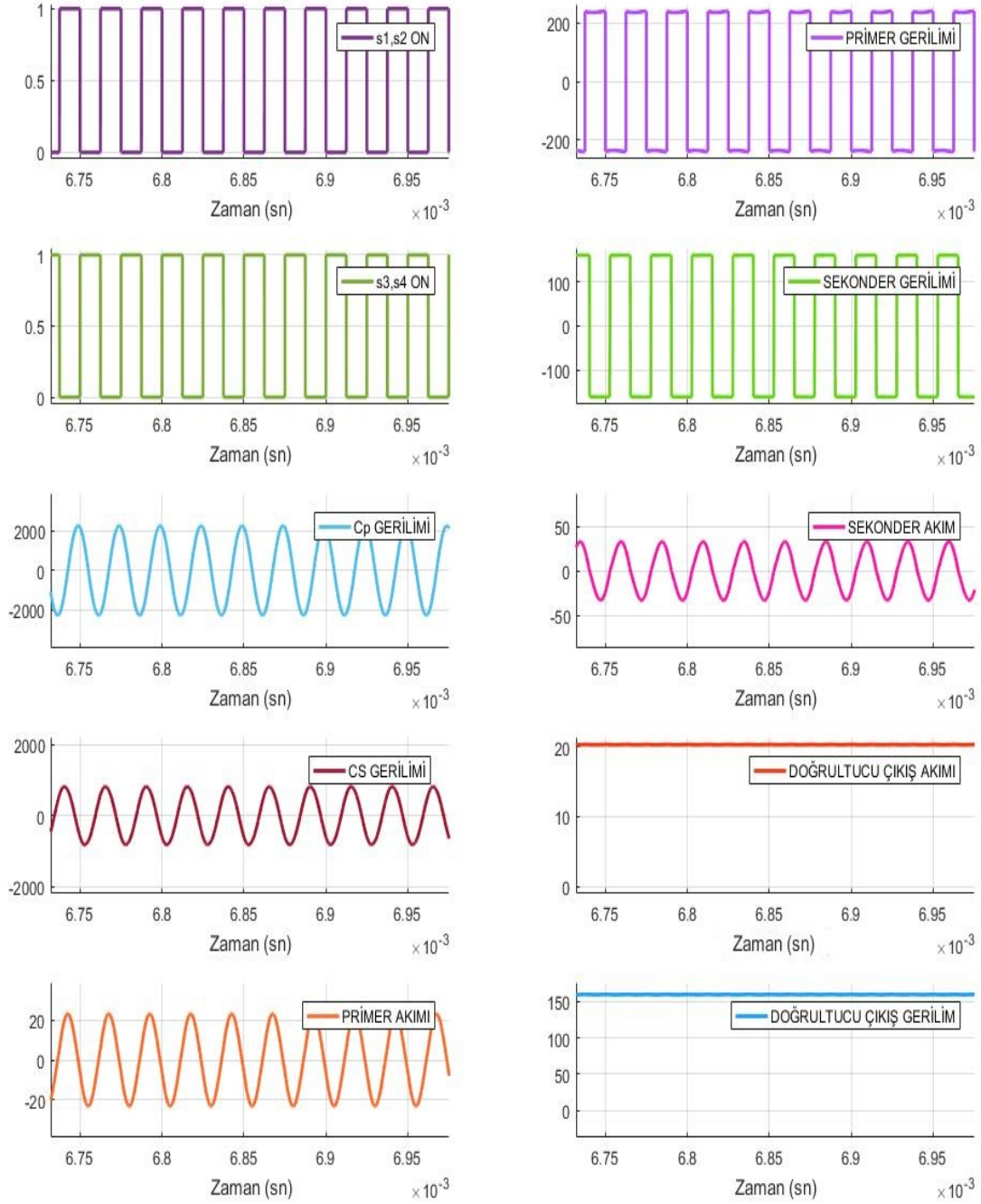
Parametreler	Verilen/Hesaplanan Değerler	Benzetim Sonuçlarından Elde Edilen Değerler
V_o	168 V	159.7 V
I_o	21 A	20.37 A
V_{Prms}	240 V	237.74 V
I_{Prms}	15 A	16.40 A
V_{Srms}	151 V	159.5 V
I_{srms}	23 A	19.63 A
R_o	7.84Ω	
L_p	354.01μH	
L_s	85.370 μH	
M	40.12μH	
C_p	39.72×10-3 μF	
C_s	156.65×10-3μF	
R_r	14.228 ohm	
K	0.2	
f	40kHz	
h	16cm	
N_p	40 spir	
N_s	12spir	
D_{pout}	470mm	
D_{pin}	95mm	
D_{sout}	470mm	
D_{sin}	356mm	



Şekil 10. Matlab/Simulink programında benzetimi yapılan devre

4. Sistemin Benzetim Çalışmasının İncelenmesi

Benzetim sonucu elde edilen sonuçlar ile matematiksel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Benzetim ve hesaplanan değerler için elde edilen sonuçlar Şekil 11'de grafiksel olarak gösterilmektedir.



Şekil 11. Benzetim yapılan devrenin benzetim grafikleri

Matlab/Simulinkte yapılan devrenin çizimi Şekil 10'da gösterilmiş olup devre de anahtarlama elemanları olarak MOSFET kullanılmıştır. Anahtarlama elemanlarının frekans değeri ve kontrolü PWM genaratörü ile sağlanmıştır. Devreden istenilen güç 3600W olup devre parametreleri ve değerleri ona göre hesaplanarak seçilmiştir. Sistem topolojisi olarak Seri-Seri devre topolojisi seçilerek devre benzetimi yapılmıştır.

Kablosuz güç transferi tekniği, özellikle elektrikli araçlar olmak üzere çeşitli sistemlerde uygulama bulur. Benzetim yapılan devre topolojisi elektrikli araçlar için en sık kullanılan Seri-Seri topoloji endüktif güç transferi kullanılmıştır. Şebeke geriliminden sonra oluşan 240V doğrultulmuş gerilimi yüksek frekanslı AA akıma dönüştürmek için tam köprü MOSFET ile tasarlanmış evirici devresi kullanılmıştır. Mosfetlerin tetiklenmeleri için PWM sinyalleri kullanılmış ve tetikleme periyotları %50 olarak ayarlanmıştır. Bu makale çalışmasında, 40 kHz çalışma frekansında, karşılıklı iki bobin arasındaki 16 cm hava aralığı ve kaynaktan çekilen güç 3600 W iken yüke aktarılan güç yaklaşık 3253 W olarak benzetim programından elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre elde edilen verim yaklaşık olarak %91 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca sistem tasarımın geliştirilmesi, dört bobinli sistem veya klasik topolojilerden türetilmiş kompanzasyon yapılarıyla mümkün olup genel olarak verimin artmasını sağlayacaktır. Genel olarak güç ve verimlilik açısından devrenin tüm performansı, topolojilerin sekonder tarafındaki kompanzasyon devresi ile belirlenir. Dolayısıyla, Seri-Seri, Seri-Paralel, Paralel-Seri ve Paralel-Paralel sırasına göre verimliliğin düştüğünü deneysel ve teorik olarak bilinmektedir. Yüksek güç çıkışı nedeniyle şarj edilecek bir araba tercihen SS kompanzasyon veya SP kullanılarak şarj edilmektedir. Küçük güçlü cihazlarda ise genellikle Paralel-Paralel veya Paralel-Seri topolojiler tercih edilmektedir. Hazırlan bu çalışmada elektrikli araçlarda sabit bir güç sağlamak ve güç transferi verimliliği maksimum seviyede olması hedeflendiği için SS endüktif güç aktarım topolojisinden yararlanılmıştır.

5. Sonuç ve Öneriler

Endüktif güç transfer teknolojisi, elektrik gücünü kablosuz olarak aktarmak için verimli ve güvenilir bir yol sağlar. Endüktif Güç Transfer ile ilgili mevcut araştırma, öncelikle akım kaynağı teknolojisinin çok sınırlı ilgi gördüğü gerilim kaynağı evirici teknolojisine odaklanmaktadır. Bu çalışma da kompanzasyon ağlarına ve mevcut endüktif güç transfer sistemlerinin de kullanılan dönüştürücü topolojilerine kapsamlı bir genel bakış sağlar.

Kablosuz güç transferi gevşek bağlaşımlı sargılar üzerinden gerçekleştirildiğinden güç aktarım veriminin düşük olması beklenir. Verim, kompanzasyon topolojileri kullanılarak artırılmalıdır. Endüktif Güç Transfer sistemlerinde güç, sistemde bulunan bobinler arasında aktarılır. Endüktif güç transferinde bobinler transformatörler gibi aynı çekirdek etrafında olmayıp bobinler arasında sistemi gevşek bağlı hale getiren bir mesafe vardır. Gücün verimli bir şekilde aktarılabilmesi için rezonans kavramı kullanılmaktadır. Dört klasik topoloji vardır ve ayrıca bu topolojilerden türetilmiş LCL topolojisi gibi yeni önerilenler topolojilerde vardır. Pil şarj uygulamaları için yeterli olan seri serisi kompanzasyon topolojisini kullanır. Seri-Seri topolojide elde edilen sonuçlar, kapasitör gerilimlerinin çok fazla bir şekilde arttığını ve bunun için özel kapasitörler gerektirdiğini göstermektedir. Bu nedenle, klasik Seri-Seri topoloji yerine LCL topolojisinin kullanılması gerektiği ortaya çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] N.Tesla, "System of transmission of electrical energy," ,03.20.1900.
<https://www.google.com/patents/US645576>. Erişim Tarihi (20.09.2020)

- [2] Diab, İ. (2019) "Design Of A Modular Primary For A Wireless Power Transfer System" Master Of Science Thesis Delft University Of Technology Department Of Dc Systems, Energy Conversion, And Storage 2019 M.A.
- [3] M.A. Rodriguez-Otero and E. O'Neill-Carrillo. "Efficient Home Appliances for a Future DC Residence". In: Energy 2030 Conference, 2008. ENERGY 2008. IEEE. Nov. 2008, pp. 1–6.
- [4] Stieneker, Marco, and Rik W. De Doncker.(2016) "Medium-voltage DC distribution grids in urban areas." 2016 IEEE 7th International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG).
- [5] Notaroš, B. M.(2011) Electromagnetics. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education
- [6] Bhutkar R., Sapre S. (2009). Wireless Energy Transfer Using Magnetic Resonance. 2009 Second International Conference on Computer and Electrical Engineering, Dubai, 28-30 December, 512-515.
- [7] Li, S., Liu, Z. Zhao, H. Zhu, L. Chen, Z. (2016) "Wireless Power Transfer by Electric Field Resonance and Its Application in Dynamic Charging," IEEE Trans. Ind. Electron., Sayı. 63, no. 10, sayfa. 6602-6612.
- [8] Lu, F.(2017) "High Power Capacitive Power Transfer for Electric Vehicle Charging Applications" Doctor of Philosophy (Electrical Engineering: Systems) in The University of Michigan
- [9] Kerem A, Gürbak H.(2020) "Elektrikli Araçlar İçin Hızlı Şarj İstasyonu Teknolojileri" GU J Sci, Part C, 8(3): 644-661
- [10] Chen, C. Chu, T. , Lin, C. , Jou, Z (2010) "A Study of Loosely Coupled Coils for Wireless Power Transfer," IEEE Trans.on Circuits and Systems-II: Express Briefs, Sayı. 57, no. 7, sayfa. 536-540
- [11] Aditya, K.(2016) "Design And Implementation Of An Inductive Power Transfer System For Wireless Charging Of Future Electric Transportation" University of Ontario Institute of Technology Oshawa, Ontario, Canada
- [12] Cheng, D. K. (1986) "Field and Wave Electromagnetics," IEEE Antennas and Propagation Society Newsletter, vol. 28, no. 2. pp. 27–28.
- [13] Panchal, C., Stegen, S., Lu, J.(2018) Review of static and dynamic wireless electric vehicle charging system, Engineering Science and Technology, an International Journal, Volume 21, Issue 5, 2018, Pages 922-937, ISSN 2215-0986, <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2018.06.015>.
- [14] Qu, X. Wong, S. C. , Tse , C. K. and Zhang, G. (2014) "Design consideration of a current-source-out put inductive power transfer LED lighting system," in Proc. IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, Pittsburgh, PA, 2014, pp. 3607-3611
- [15] Covic, G. A. and Boys, J. T. (2013) "Modern Trends in Inductive Power Transfer for Transportation Applications," IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, vol. 1, no. 1, pp. 28-41.
- [16] Wu, H. , Gilchrist, A., Sealy, K. D. And Bronson, D.(2012) "A high efficiency 5 kW inductive charger for EV s using dual side control," IEEE Trans. Ind. Informatics, vol. 8, no. 3, pp. 585–595.
- [17] Sohn, Y. H. , Choi, B. H. Lee, E. S. , Lim, G. C. Cho, G. H. and Rim, C. T. (2015) "General Unified Analyses of Two-Capacitor Inductive Power Transfer Systems: Equivalence of Current-Source SS and SP Compensations," IEEE Trans. On Power

- Electronics, vol. 30, no. 11, pp. 6030–6045
- [18]Chen, L.,Nagendra, G. R. , Boys, J. T. and Covic, G. A. (2015) "Double-coupled systems for IPT road way applications," IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, vol. 3, no. 1, pp. 37-49
- [19]Zhang, W. and Mi, C. C. (2016). Compensation topologies of high-power wireless power transfer systems. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 65(6), 4768-4778.
- [20]Cho, S. ,Y., Lee, I. O., Moon, S., Moon, G. W., Kim, B. C., &Kim, K. Y. (2013). Series series compensated wireless power transfer at two different resonant frequencies In ECCE Asia Down under (ECCE Asia), 2013 IEEE (pp. 1052-1058). IEEE.
- [21]Pashaei A., Aydın E., Polat. M., Yıldırım E., Aydemir M. T., Elektrikli Araçlar için Temassız Güç Aktarım Sistemleri, Cilt 6, Sayı 11, Syf 1-12, Haziran 2016
- [22]Zheng, C. et al.,(2015) "High-Efficiency Contactless Power Transfer System for Electric Vehicle Battery Charging Application," IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, vol. 3, no. 1, pp. 65-74

AN AUTOMATED GUNSHOT AUDIO CLASSIFICATION METHOD BASED ON FINGER PATTERN FEATURE GENERATOR AND ITERATIVE RELIEFF FEATURE SELECTOR

Türker TUNCER¹, Şengül DOĞAN², Erhan AKBAL³, Emrah AYDEMİR^{4*}

¹⁻²⁻³Fırat University, Technology Faculty, Department of Digital Forensics Engineering, Elazığ, 23119, Turkey

²Sakarya University, Faculty of Management, Department of Management Information Systems, Sakarya, 54050, Turkey

Geliş tarihi: 05.05.2021 Kabul tarihi: 23.06.2021

ABSTRACT

Audio forensics applications and methods are very crucial to clarify crimes. To accelerate audio analysis process and classify audios with high accuracy, machine learning (ML) methods must be used in audio forensics. An automated gunshot audios classification method is presented in this study. To implement our automated gunshot classification method, a novel gun audios dataset was collected from YouTube with 8 classes in the first phase. A novel ML method is presented in the second phase and the proposed ML method contains three fundamental phases. These phases are a novel finger pattern (finger-pat), statistical moments and discrete wavelet transform (DWT) based feature generation network, informative/distinctive feature selection with iterative ReliefF (IRF) feature selector and classification with a k nearest neighbors (kNN) classifier (shallow) to show success of the generated and selected features by using the proposed finger-pat based feature generation network and IRF feature selector. These methods and kNN achieved 94.48% classification accuracy. These results demonstrate that our proposed method can be used in gunshot audio analysis.

Keywords: *Gunshot audio classification; finger pattern; iterative ReliefF; audio forensics; machine learning*

1. Introduction

Nowadays, digital evidences are crucial to elucidation for a crime case. Since, humans have been used electronic devices everywhere and these devices has memory [1, 2]. Valuable evidences have generally been acquired by examining these electronic devices memory and crime investigators have extracted knowledge from these digital data. This situation made it compulsory to use machine learning (ML) in the digital forensics to improve efficiency. Identification and classification of weapons according to gunshot audios are important in security, military and scientific research [3]. Therefore, setup scenarios are prepared and the data is obtained with microphones by repeating the gun shot. But the audios in the scene forensic applications are different from the setup scenario [4, 5]. Because the angle and position information of the weapon is not known. Determining the category, caliber and model of the weapon used at the scene helps the investigation process and suspect identification. Thus, it is necessary to detect independently of the physical conditions such as the shooter's position.

e-posta¹: turkertuncer@firat.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1425-4664>

e-posta²: sdogan@firat.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9677-5684>

e-posta³: erhanakbal@firat.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5257-7560>

* e-posta⁴: emrahaydemir@sakarya.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8380-7891> (Sorumlu Yazar)

Audio forensic is the sub-branches of digital forensic. Audio forensic is about collecting, analyzing and evaluating audio recordings that can be used as evidence by justice or law enforcement officers [6]. Investigation of crimes committed using firearms is the subject of the audio forensic [7]. The audios produced by gunshot at the scene contains important information about the caliber, model and category of the gun used by the criminal [8]. Gun shooting causes audio at the scene. The audio signal differs to the characteristics of the weapon. The suspect may escape from the scene or destroy the weapon. In this case, it can obtain information about the gun and the audios to be taken from the devices that record audio, such as security camera recordings and mobile phones [9]. Therefore, audio signal in setup scenarios cannot be used. Audio signals for variable condition are needed. In our study, it is aimed to determine the model, category and caliber from the gunshot in any position, angle and space under variable conditions. The methods working in variable conditions are also successful in setup scenarios.

1.1. Motivation

Gunshot audio forensic examiner provide a lot of information for law enforcement and investigators.

The main motivations of our study are given below;

- Gunshots with unknown source can be detected using audio signals, which will be collected at the scene. Audio data can be obtained such as security cameras, wearable devices, mobile phone videos, and mobile recorders may be the sources. Using these audio signals, we can learn the brand, category and caliber of the weapon.
- Provides information about the weapon if a gunshot audio is encountered in an audio file obtained from digital evidence.
- The gun cannot be clearly visible on the scene camera, or there may not be an empty shell case at the scene. Gun information can be learned if there is a gunshot audio in the camera recordings.

1.2. Related works

Recent year ambient audio/sound classification and detection are among the popular topics. Ambient sounds are classified for many purposes. There are many studies in different areas such as environmental monitoring [10-12], underwater monitoring [13, 14], health [15, 16], construction and design [17], animal tracking [18], IT crimes [19]. Audio Forensics, the sub-branch of digital forensic, is the science that studies criminal audios. Investigators obtain many audio files from the scene or storage devices. These files may contain files with gunshots. Information about the weapon is used for the detection of crime. Guns are evidence in many cases such as murder, injury, extortion. Therefore, files with gunshots should be examined carefully. Guns are generally classified according to caliber, brand, model and category (such as gun rifle) information from gunshots. There are several studies in the literature on the analysis of gunshot. The acoustic features of gunshot audios are different. Researchers have proposed various methods and algorithms for the classification of audio signals. Begault and Beck [8] presented forensic audio gunshot analysis methods. In their study, the limitations encountered in the detection of gun audios and the reliability of the techniques were shown. Busse et al. [20] presented a model for gunshot classification. It was determined whether there was gunshot in the audio signal. The support vector machine (SVM) classifier was used and achieved 70.39% accuracy. Khan et al. [21] used the hierarchical Gaussian mixture model (GMM) Classification method for gunshot detection. He achieved 90% category classification in a total of 100 shots data sets in 10 different gun types. Ahmed et al. [22] proposed a low-cost system for the recognition of gunshot. Mel-Frequency Cepstral Coefficients (MFCC) and SVM classifier were used in their study. Djeddou and Touhami [23] aimed to classify the gunshot audio obtained from a noisy environment. GMM classifier using cepstral features was used. Audio signals obtained from the barrel mouth of 5 different guns are classified with a rate of 96.29%. Kiktova et al. [24] proposed a method for determining whether there is a gunshot in the audio

signals obtained from noise monitoring stations in cities. Hidden Markov Model (HMM) classification and viterbi based decoding algorithm obtained 80% successful detection rate. Khan et al. [25] identified gun types using the exemplar embedding hierarchical GMM classification method. Their datasets consist of total of 100 gunshots by 20 different gun types. An accuracy rate of 60-72% was obtained. Morton Jr et al. [26] provided a method for classifying gunshot audio signals. These signals are modeled using HMM with autoregressive (AR). Raponi and Ali [7] presented a method for classifying gunshots using CNN. The dataset consists of 3655 audios of 59 different weapons and achieved 90% accuracy classification rate. Sánchez-Hevia et al. [27] presented a model using LS-LDA and maximum likelihood decision fusion method. The dataset contains 840 gunshot signals of 14 gun types. Classification rate of 94.1% was obtained by using cepstral, spectral and temporal features.

1.3. Our Method

The proposed method aimed to achieve high classification accuracy like other ML methods. ML methods generally consists of three main phases and these are feature generation, feature selection and classification. Appropriate methods should be presented/used for these phases. Generally, existing powerful methods have been used to guarantee high success rates. Novel methods are risky methods. However, we preferred propose novel method in this journal. In the feature generation phase, low, medium and high levels features should be extracted and these features can be extracted using multileveled or multilayered feature generation networks such as deep learning network. Therefore, 12 levelled (The number of levels are determined as experiments. Trail and errors method was used in this phase) a novel feature generation network is presented. Local feature generators such as ternary pattern, local binary pattern which are the mostly known descriptors aim generate global optima features using local relationships and kernels. They have low computational complexity, separable feature generation ability and clear mathematical background. Therefore, they have been widely used in the literature. Since, a novel nature inspired (finger-pat) one dimensional local feature generator is presented to extract textural features of the gunshot audios. Statistical features are also extracted of both textural features and raw signal.

To select informative feature of the extracted features by a multileveled feature generation network, an effective feature selector should be used. Therefore, we used IRF feature selector to solve the automated best feature vector selection problem.

Any classifier can be used in the classification phase since the effective feature are generated and selected. Therefore, kNN [28] classifier is selected to show results.

1.4. Contributions

This work proposes a novel gun audio classification method and our contributions are;

- Gun audio classification is one of the most crucial for crime investigator. Therefore, an automated gun audio classification method must be presented for the audio forensics field. However, testbed is the most problem for developing gun audio classification method. By using automated gun audio classification methods, novel intelligent audio forensics toolboxes can be developed. To solve testbed problem, a novel gun dataset was collected. This dataset contains 851 audios of the 8 gun classes.
- A hand-crafted and nature inspired method is presented. The used three fundamental components/techniques of this method are finger-pat and statistical features based feature generation network, IRF feature selector and kNN classifier. A new finger-pat which is a nature inspired feature extractor is presented in this work. This method is a nature inspired feature extractor to obtain textural features. In the feature generation network both textural features by using the proposed finger-pat and statistical feature with 19 widely preferred

statistical moments are extracted. Also, features of feature are generated in this work. Since, statistical features of the finger-pat features are generated in our network. An exhaustive and informative feature generation is proposed.

- ReliefF [29] cannot select the best number of features automatically. To solve this problem and obtain the best feature vector, IRF method is utilized as feature selector.
- The proposed finger-pat based feature generation network and IRF feature selector extract comprehensive and select informative feature. To specify this situation, kNN classifier is used and 94.48% classification accuracy was calculated by using kNN with 10-fold cross validation.

2. Audio dataset

Varying environment model was used to gather gunshot audios since YouTube was used to data source. The audios of the gun models were collected on YouTube [30] using videos that are open to everyone. These files gathered on different dates were downloaded and parts were produced for 2 seconds for each gun type. In this way, a total of 851 files types were obtained with 8 gun models. The sampling rate of the audio files is 44100 Hz. Firstly, each audio file was converted to wav file format. And then, the audios were carefully listened to and made sure that there were no different audios or noises inside. It has been carefully checked that the same audio does not continue repeatedly during the fragmentation of the audio files. WavePad Audio Editor program was used for all these processes. The audio files are stored at <https://www.kaggle.com/emrahaydemr/gunshot-audio-dataset> for using by other researchers. Table 1 denotes details of the number of audios formed are listed.

Table 1. Details of the collected gunshots audio dataset

ID	Model	Number of observations
1	AK-47	72
2	IMI Desert Eagle (Desert Eagle)	100
3	AK-12	98
4	M16	200
5	M249	99
6	MG-42	100
7	MP5	100
8	Zastava M92	82

2.1. The proposed finger pattern and iterative ReliefF based gunshot audio classification method

We present a novel audio classification method for gunshots and this method consist of three fundamental phases. These are finger-pat and statistical moments based feature generation network, feature selection with IRF feature selector and classification with kNN [28]. The proposed finger-pat and IRF based audio classification method aims achieve high classification ability using conventional classifiers like kNN. Graphical overview of the proposed finger-pat and IRF based audio classification method is shown in Fig. 1.

To overview the proposed finger-pat and IRF based classification method, procedure of this method is shown in Fig. 2.

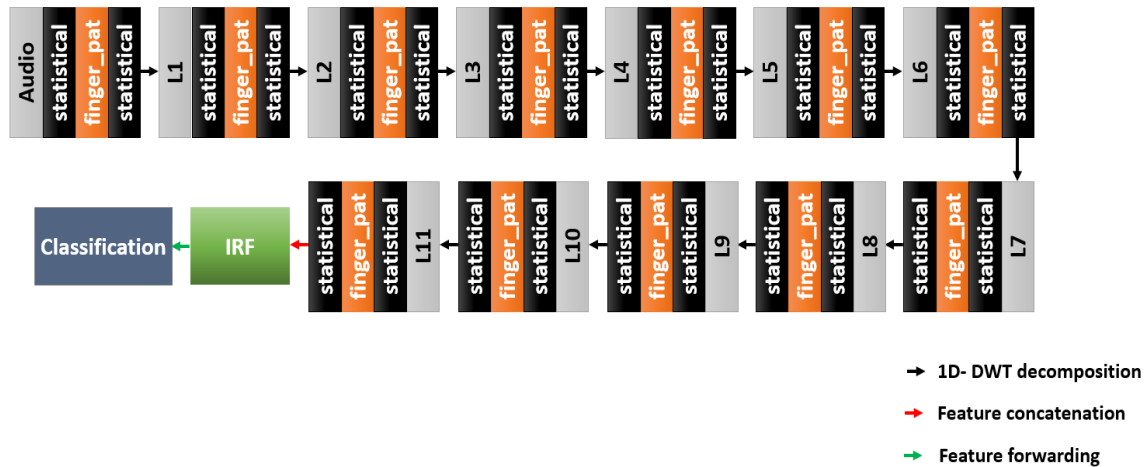


Fig. 1. Graphical summarization of the proposed finger-pat and IRF based method.

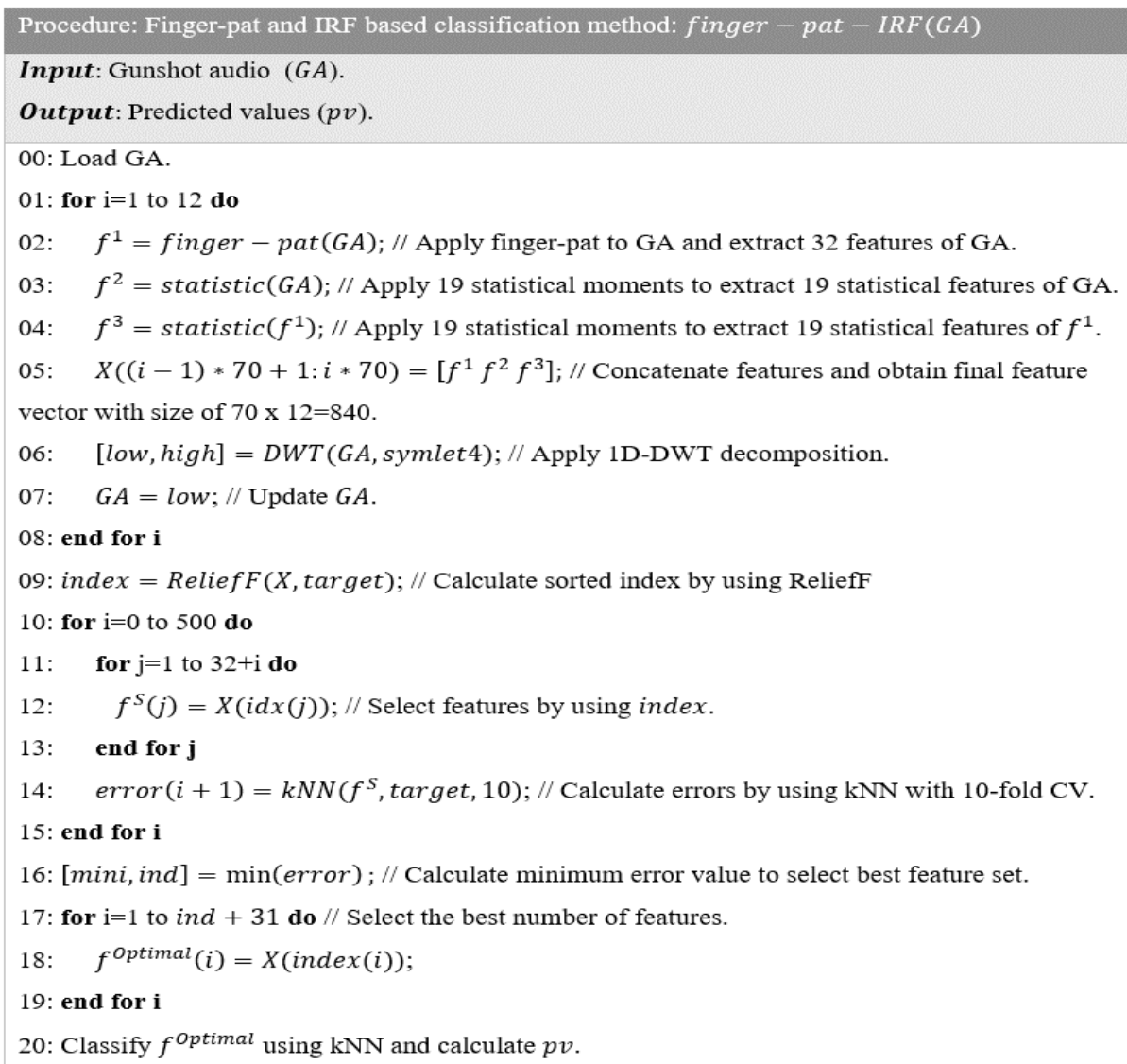


Fig. 2. Procedure of the proposed finger-pat and IRF based audio classification method.

Fig. 2 indicates pseudo code of our method. Lines 01-08 denote finger-pat and statistical moments based multileveled generation network, lines 09-19 show IRF feature selector based informative feature selection process and line 20 demonstrates classification phase. Details of the proposed finger-pat and IRF based classification method are given in subsections.

2.2. Feature generation network

This work proposes a novel feature generation network and this network aims to generate high, medium and low levels features. Therefore, multilevel DWT [31, 32] transform is utilized as level creation method. In each level, finger-pat and 19 statistical moments generate 70 features. The interesting side of this network is to extract features of features. The proposed feature generation network extracts both textural and statistical features together as shown Fig. 3.

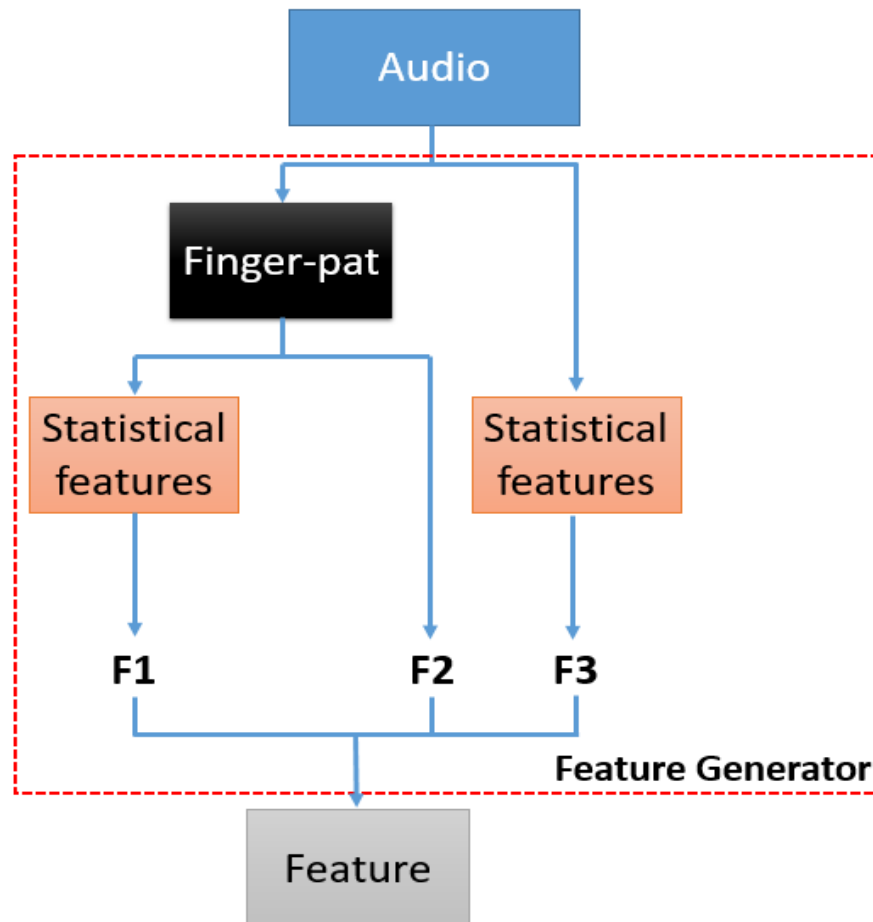


Fig. 3. Graphical structure of the proposed finger-pat and statistical moments based feature generator.

Steps of the proposed finger-pat and statistical moments based multilevel feature generation network are;

Step 1: Generate 11 low-pass filter sub-bands by using multilevel DWT with symlets 4 filter (*sym4*). Symlets 4 filter is very effective for both signal decomposition and signal denoising.

$$[LowPass^1, HighPass^1] = DWT(GA, sym4) \quad (1)$$

$$[LowPass^k, HighPass^k] = DWT(LowPass^{k-1}, sym4), k = \{2, 3, \dots, 11\} \quad (2)$$

where $LowPass^k$ and $HighPass^k$ are k^{th} low pass and high pass filters of the DWT.

Step 2: Generate 32 features from the raw audio and low pass filter sub-bands of it by using fingerprint and extract 19 features from each 32 features using statistical feature generation function (*sfgf*). Mathematical explanation of this functions are shown as below.

$$s1 = \frac{\sum_{i=1}^L signal_i}{L} \quad (3)$$

$$s2 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^L (signal_i - s1)^2}{L}} \quad (4)$$

$$s3 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^L (signal_i)^2}{L}} \quad (5)$$

$$s4 = \frac{\sum_{i=1}^L signal_i}{s3} \log\left(\frac{signal_i}{s3}\right) \quad (6)$$

$$s5 = \sum_{i=1}^L \frac{i * signal_i - f1}{\sigma_i} \quad (7)$$

$$s6 = \frac{\sum_{i=1}^L |signal_{i+1} - signal_i|}{L} \quad (8)$$

$$s7 = \frac{\sqrt{L(L-1)}}{L-2} \left(\frac{\frac{1}{L} \sum_{i=1}^L (signal_i - s1)^3}{\frac{1}{L} \sum_{i=1}^L (signal_i - s1)^2} \right) \quad (9)$$

$$s8 = \frac{L-1}{(L-2)(L-3)} \left[(L+1) \left(\left(\frac{\frac{1}{L} \sum_{i=1}^L (signal_i - s1)^4}{\frac{1}{L} \sum_{i=1}^L (signal_i - s1)^2} \right) - 3 \right) + 6 \right] \quad (10)$$

$$s9 = signal\left(\frac{L}{2}\right) \quad (11)$$

$$s10 = \{signal\} \quad (12)$$

$$s11 = \max\{signal\} \quad (13)$$

$$s12 = \frac{s1}{s2} \quad (14)$$

$$s13 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^L signal_i^2}{L}} \quad (15)$$

$$s13 = \frac{\sqrt{\frac{1}{L} \sum_{i=1}^L signal_i^2}}{\frac{1}{L} \sum_{i=1}^L |signal_i|} \quad (16)$$

$$s15 = \frac{\max |signal|}{\sqrt{\frac{1}{L} \sum_{i=1}^L signal_i^2}} \quad (17)$$

$$s16 = \frac{\max |signal|}{\frac{1}{L} \sum_{i=1}^L \sqrt{|signal_i|^2}} \quad (18)$$

$$s17 = \frac{\max |signal|}{\frac{1}{L} \sum_{i=1}^L |signal_i|} \quad (19)$$

$$s18 = (\max(signal) - \min(signal)) \quad (20)$$

$$s19 = (\max(signal) - \text{mean}(signal)) \quad (21)$$

Where signal is input audio signal or low pass filter of it. s defines statistical moment, L represents length of the signal. These equations create *sfgf*. Feature generation method of this step is shown in below.

$$f^1(1:32) = \text{finger} - \text{pat}(GA) \quad (22)$$

$$f^3(1:19) = \text{sfgf}(f^1(1:32)) \quad (23)$$

$$f^1(k * 32 + 1:(k + 1) * 32) = \text{finger} - \text{pat}(\text{LowPass}^k), k = \{1, 2, \dots, 11\} \quad (24)$$

$$f^3(k * 19 + 1:(k + 1) * 19) = \text{sfgf}(f^1(k * 32 + 1:(k + 1) * 32)) \quad (25)$$

As can be seen from Eqs. 22-25, *finger - pat(.)* represents as feature generation function of the finger-pat. Eqs. 22-25 define both feature generation and fusion.

Humans have 10 finger on their hands. When the hands are put together, it is seen that the fingers arrangement has a center symmetric structure as shown in Fig. 4.



Fig. 4. Arrangement of the hand fingers.

Therefore, a 10 sized overlapping block is used and center symmetric pattern is used for feature generation. Steps of the proposed finger-pat are shown as below.

Step 2.1: Divide signal into 10 sized overlapping blocks.

$$p_h = \text{signal}(i:i+9), h = \{1,2, \dots, L-9\} \quad (26)$$

where L is length of signal.

Step 2.2: Generate binary features by using center symmetric pattern and signum function.

$$\text{bit}(y) = \text{signum}(p(y), p(11-y)), y = \{1,2, \dots, 5\} \quad (27)$$

$$\text{signum}(fp, sp) = \begin{cases} 0, & fp - sp < 0 \\ 1, & fp - sp \geq 0 \end{cases} \quad (28)$$

where fp and sp denote first and second parameters of the signum function respectively.

Step 2.3: Create map value of the finger-pat by using Eq. 29.

$$\text{map}(i) = \sum_{k=1}^5 \text{bit}(k) * 2^{k-1} \quad (29)$$

Step 2.4: Calculate histogram of the map value.

$$\text{histo}(r) = 0, r = \{1,2, \dots, 2^5\} \quad (30)$$

$$\text{histo}(\text{map}(i) + 1) = \text{histo}(\text{map}(i) + 1) + 1 \quad (31)$$

In Eq. 30, initial values of the histogram (histo) are assigned as 0 and histogram extraction is processed in Eq. 31.

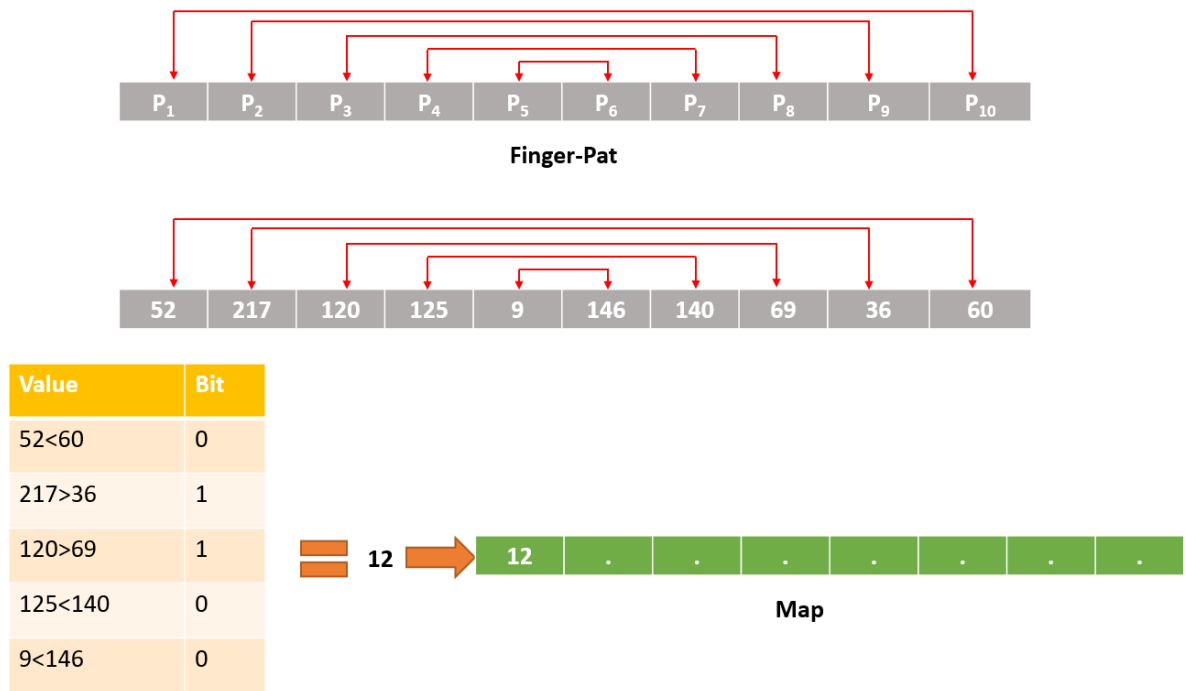


Fig. 5. Pattern of the proposed finger-pat and a numerical example about finger-pat. Histogram of the calculated map is utilized as feature vector. Thus, map value calculation is shown in this figure by using a numerical example.

Step 3: Extract 19 statistical features of the raw gunshot audio and low pass filter of it. Eqs. 32 and 33 define feature generation and concatenation.

$$f^2(1:19) = sfgf(GA) \tag{32}$$

$$f^2(k * 19 + 1: (k + 1) * 19) = sfgf(LowPass^k), k = \{1,2, \dots, 11\} \tag{33}$$

As seen Steps 1-3, three type features are extracted and these are called as f^1 (finger-pat features, textural features), f^2 (statistical features) and f^3 (features of features, statistical features of the finger-pat features). Sizes of these features vectors are 384, 158 and 158 respectively. These features are concatenated and final feature vector (X) with size of 840 is obtained.

Step 4: Combine generated three feature vectors (f^1, f^2, f^3) to generate X . Mathematical definition of the feature concatenation is shown in Eqs. 34-36.

$$X(i) = f^1(i), i = \{1,2, \dots, 384\} \tag{34}$$

$$X(j + 384) = f^2(j), j = \{1,2, \dots, 158\} \tag{35}$$

$$X(j + 542) = f^3(j), j = \{1,2, \dots, 158\} \tag{36}$$

2.3. IRF based feature selection

ReliefF [29] is one of the mostly preferred feature selector for informative feature selection and generates weights which are both positive and negative for each feature. By using the generated feature weights, feature selection is processed in ReliefF. Negative weighted features can be assigned as redundant features in the ReliefF. However, there is no automatic optimal number of features selection method. To solve this problem, a new generation ReliefF is presented and it is named as IRF. IRF uses ReliefF weights to select optimal features. In the IRF, a loss value generator, we selected classifiers as loss value generator, and an iteration are used to select optimal features. Steps of our presented feature selector and graphical summarization of the IRF are shown in below.

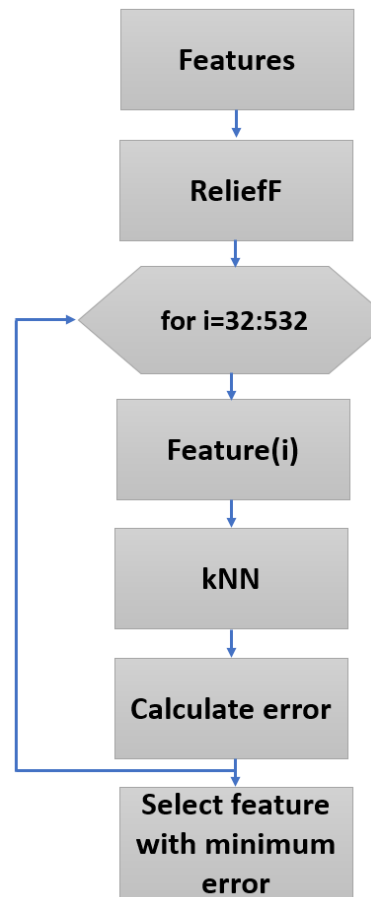


Fig. 6. Flow diagram of the used IRF feature selector. The proposed methods select from 32 features to 532 features and it calculates error rate of each features by using kNN classifier.

Step 5: Generate ReliefF weights of the X .

$$weight = ReliefF(X, target) \quad (37)$$

Step 6: Calculate index values of the sorted features.

$$[maxi, index] = sort(weight) \quad (38)$$

where $sort(.)$ is sorting function.

Step 7: Select features. IRF has high computational complexity, hence, 501 features are selected in this work to decrease complexity.

$$feat^{S-31}(i) = X(index(i)), i = \{1, 2, \dots, S\}, S = \{32, 33, \dots, 532\} \quad (39)$$

Step 8: Calculate loss values of the selected features by using kNN with 10-fold CV.

$$loss(S - 31) = kNN(feat^{S-31}, target, 10) \quad (40)$$

Step 9: Find index (*ind*) of the minimum loss value.

$$[mini, ind] = \min(loss) \quad (41)$$

$$ind = ind + 31 \quad (42)$$

The proposed IRF starts selecting features from 32 features. Therefore, Eq. 42 is used to calculate optimal number of features.

Step 10: Select optimal number of features.

$$f^{Optimal}(i) = X(index(i)), i = \{1, 2, \dots, ind\} \quad (43)$$

where $f^{Optimal}$ is optimal features.

2.4. Classification

The last phase of our method is classification. kNN classifier is used in this work. Parameters of the kNN are given as follows. k value is selected as 1 and distance metric is chosen Manhattan (City Block) distance metric. Mathematical explanation of the Manhattan distances is shown as below.

$$dist(A, B) = \sum_{i=1}^D |A_i - B_i| \quad (44)$$

This kNN classifier is used for both feature selection (loss function of the IRF feature selector) and classification. The last step (Step 11) is shown as below.

Step 11: Classify $f^{Optimal}$ by using kNN.

$$pv = kNN(f^{Optimal}, target, 10) \quad (45)$$

2.5. Experiments

We collected a novel dataset from YouTube [30]. Therefore, these gunshot audios were collected from varying environments. We did not use any experimental setup for gunshot audios recording. A

novel ML method was presented to classify these gun-shots with high accuracy. Our experimental setup for designing the proposed finger-pat and IRF based classification method is given as follows. The proposed finger-pat and IRF based audio classification was coded in MATLAB (2018b) programming environment on a desktop computer (DC). Our DC has 32 GB RAM, 3.2 GHz 7th generation i7 CPU and Windows 10.1 operating system.

To evaluate performance of the used classifier (kNN). Accuracy (*cac*), unweighted average precision, recall, F1 (*UAR*, *UAP*, *F1*) and geometric mean (*gm*) are utilized [33-35]. We used multiclass classification. Therefore, these performance metrics have been used. Mathematics of them;

$$UAP = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T \frac{TP_i}{TP_i + FP_i} \quad (46)$$

$$UAR = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^N \frac{TP_i}{TP_i + FN_i} \quad (47)$$

$$gm = \sqrt[T]{\prod_{i=1}^T \frac{TP_i}{TP_i + FP_i}} \quad (48)$$

$$F1 = \frac{2 * UAP * UAR}{UAP + UAR} \quad (49)$$

$$cac = \frac{TP_i + TN_i}{TP_i + TN_i + FP_i + FN_i} \quad (50)$$

where *TP*, *TN*, *FP*, *FN* and *T* are number of true positives, number of true negatives, number of false positives, number of false negatives and number of classes. The obtained measurements were listed in Table 2.

Table 2. The calculated performance measurements by using kNN.

Measurement	Rate (%)
Classification accuracy	94.48
Unweighted Average Recall	93.92
Unweighted Average Precision	94.91
F1-score	94.41
Geometric Mean	93.72

To validate these results, confusion matrix of this method is shown in Fig. 7.

		Predicted Class							
		1	2	3	4	5	6	7	8
True Class	1	68	1	1		1		1	
	2		86	1	7	4	2		
	3			98					
	4				200				
	5		4		1	94			
	6		4		2	1	93		
	7	1	3	1	3	5	3	83	1
	8								82

Fig. 7. The confusion matrix resulted by using kNN classifier.

As seen from Fig. 7, perfect classification rate (100.0% classification accuracy) was founded in three classes which are 3rd, 4th and 8th classes.

3. Discussions

For the gunshot analysis, ballistic and chemometrics analysis have generally used in crime scene. Manual audio analysis for gunshots are very difficult and a lot of time is needed to analyze these audios. Nowadays, time is one of the most valuable thing. Audio forensics analysis are processed manually by an expert. Therefore, these processes are depended on the audio forensic expert. Success of case is directly proportional success of the crime investigator (audio forensic analysis expert). To decrease error rate of this processes and eliminate waste of time, ML based automated audio classification methods should be used. This paper is proposed finger-pat and IRF based gunshot audio classification method to automatically analysis gunshots in crime investigation. This finger-pat and IRF based classification method is a cognitive method because problems of the ML are solved in this method step by step. This method is a nature inspired ML method. By using the proposed cognitive ML methods and other ML methods, intelligent audio analysis agents/toolboxes can be developed. According to audio forensics examiners, the proposed method will save a lot of time for audio analyses and it will not be necessary to use chemometrics and ballistic analysis for some cases.

We presented a new generation ML method. This method uses a finger-pat based feature generation network. The interesting side of the proposed feature generation network is to extract features of features. The proposed new generation gunshot audio classification method has a multileveled feature generation network. This network generates 840 features and IRF selects 517 the most informative features. Plotting of the IRF based feature selection process is shown in Fig. 8.

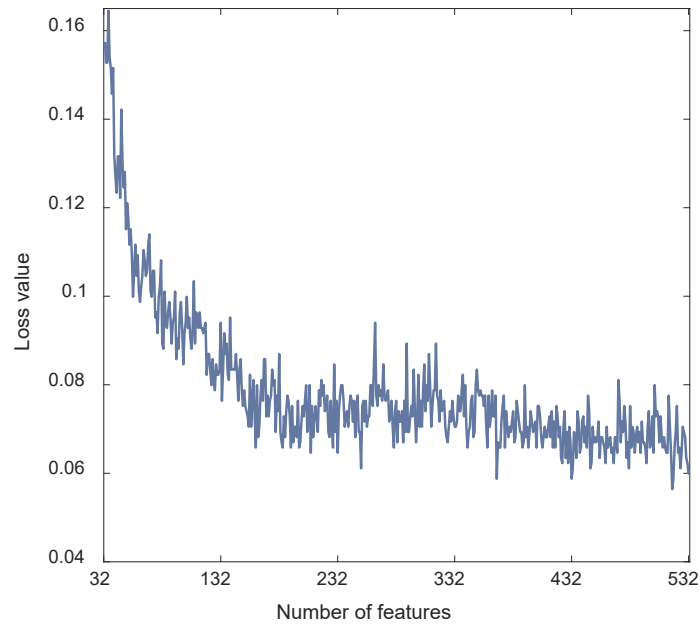


Fig. 8. Feature selection process of the IRF feature selector.

Fig. 8 shown error rates of each selected features. To clearly indicate success of the proposed finger-pat and IRF based gunshot audio classification method, this method was compared to other gunshot classification methods and results were listed in Table 3.

Table 3. Results of the proposed method and other gunshot classification methods.

Study and Year	Dataset	Method and Classifier	Accuracy Rate	Signal Acquisition Conditions	
				Varying	Setup scenario
[21]	10 gun and 100 gunshot	Gaussian Mixture Model (GMM)	90% category	-	+
[25]	20 gun and 100 gunshots	Exemplar embedding using hierarchical GMM	95-100% (category) 60-72% (model)	+	-
[36]	4 gun and 194 gunshots	Time-of-arrival and direction-of-arrival estimation	86% (caliber)	-	-
[26]	5 gun and 46 gunshots	Hidden Markov model (HMM)	95.65% (model)	-	+
[23]	5 gun and 230 gunshots	Hierarchical GMM classification	96.29% (category)	-	+
[24]	4 gun and 372 gunshot	HMM	80% (model)	-	+
[27]	14 gun and 840 gunshots	LS-LDA & Maximum Likelihood decision fusion	94.1% (model)	+	-

[20]	1 gun 374 gunshots	SVM	50% (Binary classification)	+	-
[7]	59 gun models 3655 gunshots	Convolutional Neural Networks	90% (Category, Caliber, and Model)	+	+
Our Proposed Method	8 gun models with 851 gunshots	Finger Pattern Feature Generator and Iterative ReliefF Feature Selector	94.48% (model) classification accuracy	+	+

As can be seen Table 3, the proposed achieved high classification accuracy for detecting model of the used guns. Also, the gathered dataset has 851 audios and it is a heterogeneous dataset. In this view, it is a good testbed to evaluate general success of the classification methods. This dataset clearly demonstrated of general success of the finger-pat and IRF based method. Benefits of our methods are;

- There are limited gunshot datasets in the literature. Therefore, a new gunshot dataset was collected and it was publicly published in this work.
- A new nature inspired feature extractor is presented and it is called as finger-pat. We used finger-pat as one of the fundamental feature extractors of our method.
- The optimal number of features are selected by using IRF. This result denoted that IRF solves optimal number of features selection problem.
- This paper presented a new gunshot audios classification method by using finger-pat and statistical moments based feature generation network and IRF feature selector together. The selected features were forwarded to kNN and 94.48% classification was achieved. This situation demonstrated success of the finger-pat and IRF based feature generation and selection methods.
- Robust classification results were obtained. Since, 10-fold CV was used as validation and test strategy.
- A high accurate method is presented. The proposed finger-pat and IRF based method resulted high accuracy on a heterogonous dataset.
- This method uses hand-crafted features and these methods are both simply and distinctive. They also have low computational complexity. In the proposed finger-pat and IRF based method, there is no need to set millions of parameters as in deep learning networks. Therefore, this method is a lightweight method.
- This paper defined ML feature generation and feature selection problems and it solved them step by step. In this view, this method is a cognitive method.
- There are limited ML based applications in the audio forensics. This work aimed solve this problem because ML based applications save a lot of time in the audio forensics examinations according to audio forensics experts.

4. Conclusion

Audio forensics is one of the mostly crucial sub-branches of the digital forensics. However, mostly audio forensics cases have been analyzed manually. Expertise level of audio forensics examiner directly affects to case. In order to minimize human mistakes, ML based methods must be used. Gunshot audio classification is one of the hard problems of the audio forensics. Therefore, we presented a novel automated gunshot audio classification method. In the first phase, we collected a new gunshot audios dataset from YouTube as a testbed. A new generation textural feature extraction function is proposed in this work and this feature extractor is named as finger-pat. The presented finger-pat was inspired by arrangement of human hands fingers. To generate comprehensively and multileveled features, 19 statistical moments, finger-pat and DWT were used together. IRF is a new generation variation of the ReliefF and it solved optimal features selection problem of the ReliefF feature selector. The selected most informative features were classified by using kNN. kNN reached 94.48% classification accuracy for gun models classification. The performance of the developed finger-pat and IRF based gunshot classification model was assessed by audio forensics experts and they confirmed effectiveness of this model.

5. Future Directions

Our future directions are;

- Gunshot audio classification is a hard problem for audio forensics experts. Therefore, a novel ML based assistant systems can be developed by using the proposed finger-pat and IRF based method for gunshot audios classification.
- Chemometrics and ballistic analyzes are high costly. To decrease cost for gun model detection, novel ML based applications/models can be developed.
- The proposed finger-pat and IRF based feature generation network and feature selection model can be applied to other signals for classifications.
- Finger-pat is a nature inspired feature extractor. This work shows that a high accurate classification method can be developed. Many nature-inspired feature extractors can be proposed.
- We collected a new gunshot audios dataset. Bigger datasets can be collected and our model can be tested on bigger datasets.

References

- [1] Casey E. Digital evidence and computer crime: Forensic science, computers, and the internet: Academic press; 2011.
- [2] Turner P. Unification of digital evidence from disparate sources (digital evidence bags). Digital Investigation. 2005;2(3):223-228.
- [3] Case A, Cristina A, Marziale L, Richard GG, Roussev V. FACE: Automated digital evidence discovery and correlation. digital investigation. 2008;5:S65-S75.
- [4] Kenneally EE, Brown CL. Risk sensitive digital evidence collection. Digital Investigation. 2005;2(2):101-119.
- [5] Turner P. Selective and intelligent imaging using digital evidence bags. digital investigation. 2006;3:59-64.
- [6] Maher RC. Audio forensic examination. IEEE Signal Processing Magazine. 2009;26(2):84-94.
- [7] Raponi S, Ali I, Oligeri G. Sound of Guns: Digital Forensics of Gun Audio Samples meets Artificial Intelligence. arXiv preprint arXiv:2004.07948. 2020.
- [8] Begault DR, Beck SD, Maher RC. Overview of forensic audio gunshot analysis techniques. Paper presented at: Audio Engineering Society Conference: 2019 AES International Conference on Audio Forensics, 2019.

- [9] Maher RC. Acoustical characterization of gunshots. Paper presented at: 2007 IEEE Workshop on Signal Processing Applications for Public Security and Forensics, 2007.
- [10] Sueur J, Farina A. Ecoacoustics: the ecological investigation and interpretation of environmental sound. *Biosemiotics*. 2015;8(3):493-502.
- [11] Xie J, Zhu M. Handcrafted features and late fusion with deep learning for bird sound classification. *Ecological Informatics*. 2019;52:74-81.
- [12] Green M, Murphy D. Environmental sound monitoring using machine learning on mobile devices. *Applied Acoustics*. 2020;159:107041.
- [13] Mayer P, Magno M, Benini L. Self-sustaining acoustic sensor with programmable pattern recognition for underwater monitoring. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. 2019;68(7):2346-2355.
- [14] Pham G-T, Baron V, Finez A, Nicolas B. High resolution source localization in underwater acoustics for deep sea mining monitoring. Paper presented at: OCEANS 2019-Marseille, 2019.
- [15] Lim SJ, Jang SJ, Lim JY, Ko JH. Classification of snoring sound based on a recurrent neural network. *Expert Systems With Applications*. 2019;123:237-245.
- [16] Patil S, Saxena A, Talreja T, Bhatti V. Medical Diagnosis of Ailments Through Supervised Learning Techniques on Sounds of the Heart and Lungs. *Soft Computing and Signal Processing*: Springer; 2019:253-262.
- [17] Jung M, Chi S. Human activity classification based on sound recognition and residual convolutional neural network. *Automation in Construction*. 2020;114:103177.
- [18] González-Hernández FR, Sánchez-Fernández LP, Suárez-Guerra S, Sánchez-Pérez LA. Marine mammal sound classification based on a parallel recognition model and octave analysis. *Applied Acoustics*. 2017;119:17-28.
- [19] Muhammad G, Alghathbar K. Environment recognition for digital audio forensics using MPEG-7 and mel cepstral features. *Journal of Electrical Engineering*. 2011;62(4):199-205.
- [20] Busse C, Krause T, Ostermann J, Bitzer J. Improved Gunshot Classification by Using Artificial Data. Paper presented at: Audio Engineering Society Conference: 2019 AES International Conference on Audio Forensics, 2019.
- [21] Khan S, Divakaran A, Sawhney HS. Weapon identification using hierarchical classification of acoustic signatures. Paper presented at: Sensors, and Command, Control, Communications, and Intelligence (C3I) Technologies for Homeland Security and Homeland Defense VIII, 2009.
- [22] Ahmed T, Uppal M, Muhammad A. Improving efficiency and reliability of gunshot detection systems. Paper presented at: 2013 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, 2013.
- [23] Djeddou M, Touhami T. Classification and modeling of acoustic gunshot signatures. *Arabian journal for science and engineering*. 2013;38(12):3399-3406.
- [24] Kiktova E, Lojka M, Pleva M, Juhar J, Cizmar A. Gun type recognition from gunshot audio recordings. Paper presented at: 3rd International Workshop on Biometrics and Forensics (IWBF 2015), 2015.
- [25] Khan S, Divakaran A, Sawhney HS. Weapon identification across varying acoustic conditions using an exemplar embedding approach. Paper presented at: Sensors, and Command, Control, Communications, and Intelligence (C3I) Technologies for Homeland Security and Homeland Defense IX, 2010.
- [26] Morton Jr KD, Torrione PA, Collins L. Classification of acoustic gunshot signatures using a nonparametric Bayesian signal model. Paper presented at: Sensors, and Command, Control, Communications, and Intelligence (C3I) Technologies for Homeland Security and Homeland Defense X, 2011.
- [27] Sánchez-Hevia HA, Ayllón D, Gil-Pita R, Rosa-Zurera M. Maximum likelihood decision fusion for weapon classification in wireless acoustic sensor networks. *IEEE/ACM transactions on audio, speech, and language processing*. 2017;25(6):1172-1182.

- [28] Liao Y, Vemuri VR. Use of k-nearest neighbor classifier for intrusion detection. *Computers & security*. 2002;21(5):439-448.
- [29] Robnik-Šikonja M, Kononenko I. Theoretical and empirical analysis of ReliefF and RReliefF. *Machine learning*. 2003;53(1-2):23-69.
- [30] Youtube. <https://www.youtube.com/>. 2020.
- [31] Shensa MJ. The discrete wavelet transform: wedding the a trous and Mallat algorithms. *IEEE Transactions on signal processing*. 1992;40(10):2464-2482.
- [32] Jensen A, la Cour-Harbo A. *Ripples in mathematics: the discrete wavelet transform*: Springer Science & Business Media; 2001.
- [33] Schiele J, Rabe F, Schmitt M, et al. Automated Classification of Airborne Pollen using Neural Networks. Paper presented at: 2019 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2019.
- [34] Stuhlsatz A, Meyer C, Eyben F, Zielke T, Meier G, Schuller B. Deep neural networks for acoustic emotion recognition: Raising the benchmarks. Paper presented at: 2011 IEEE international conference on acoustics, speech and signal processing (ICASSP), 2011.
- [35] Tuncer T, Dogan S, Pławiak P, Acharya UR. Automated arrhythmia detection using novel hexadecimal local pattern and multilevel wavelet transform with ECG signals. *Knowledge-Based Systems*. 2019;186:104923.
- [36] Sallai J, Hedgecock W, Volgyesi P, Nadas A, Balogh G, Ledeczki A. Weapon classification and shooter localization using distributed multichannel acoustic sensors. *Journal of systems architecture*. 2011;57(10):869-885.

METALLOTİYONEİN GENİ KLONLANMIŞ REKOMBİNANT *Escherichia coli* SUŞLARIYLA SULU ÇÖZELTİLERDEN ARSENİK BİYOGİDERİMİ

Aysel ALKAN UÇKUN^{1*}, Miraç UÇKUN², Şeyma AKKURT³

¹⁻³Adiyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Adiyaman, 02040, Türkiye

²Adiyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Adiyaman, 02040, Türkiye

Geliş tarihi: 02.06.2021 Kabul tarihi: 13.06.2021

ÖZET

Bu çalışmada, insan metalloproteinlerinden hMT2 ve hMT3'ün sulu çözeltilerden arsenik (As) giderme kapasitelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu genler konakçı *Escherichia coli* Jm109 suşuna klonlanmış, elde edilen rekombinant suşlarla yabancı suşun sulu çözeltilerden As biyogiderim oranları kıyaslanmıştır. 24 saat boyunca suşlara 0,01 ppm, 0,1 ppm ve 1 ppm konsantrasyonlarında As uygulanmıştır. İndüktif eşleşmiş plazma kütle spektroskopisi (ICP-MS) sonuçlarından, hücrelerinde en fazla As biriktiren suşun *E. coli* MT3 olduğu ve en fazla 0,01 ppm As konsantrasyonunda birikim yaptığı (%82 oranında) saptanmıştır. Taramalı elektron mikroskopu (SEM) görüntülerinden, As ile muamele edilmiş suşların hücre yüzeylerinin kontrol suşuna kıyasla daha fazla zarar gördüğü belirlenmiş, enerji dağılımı spektrumlarından (EDS) da As varlığı kanıtlanmıştır. Sonuç olarak, *E. coli* MT3 suşunun hem *E. coli* Jm109 hem de *E. coli* MT2 suşuna göre daha fazla As absorbe ettiği, dolayısıyla MT3 geninin/proteinin sulardan As giderilmesinde etkili bir biyoremediyal araç olarak kullanılabileceği söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: *Biosorpsiyon, E.coli Jm109, Genetiği değiştirilmiş bakteri, Metallothionein, Sulardan Arsenik giderimi*

BIOREMOVAL of ARSENIC from AQUEOUS SOLUTIONS with METALLOTHIONEIN GENE CLONED RECOMBINANT *Escherichia coli* STRAINS

ABSTRACT

In this study, it was aimed to determine the arsenic (As) removal capacity of human metalloproteins hMT2 and hMT3 from aqueous solutions. These genes were cloned into the host *Escherichia coli* Jm109 strain, and the bioremoval rates of As from aqueous solutions of the obtained recombinant strains and the wild strain were compared. As concentrations of 0,01 ppm, 0,1 ppm and 1 ppm were applied to the strains for 24 hours. From the inductively coupled plasma mass spectroscopy (ICP-MS) results, it was determined that the strain which accumulated the most As in its cells was *E. coli* MT3, and it accumulated the most at 0,01 ppm As concentration (82%). From the scanning electron microscope (SEM) images, it was determined that the cell surfaces of the As-treated strains were more damaged than the control strain, and the presence of As was proven from the energy distribution spectra (EDS). In conclusion, it can be said that the *E. coli* MT3 strain absorbs more As compared to both *E. coli* Jm109 and *E. coli* MT2 strains, so the MT3 gene/protein can be used as an effective bioremedial tool for As removal from water.

Keywords: *Biosorption, E.coli Jm109, Genetical engineering bacteria, Metallothionein, Arsenic removal from water*

e-posta¹: ayseluckun@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-00028957-7476> (Sorumlu Yazar)

e-posta²: miracuckun@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9018-8515>

e-posta³: sakkurt@adiyaman.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0135-1975>

1. Giriş

Arsenik (As), havada, suda ve torakta yaygın olarak bulunan doğal bir metaloiddir [1]. As, yerkürede en çok bulunan 20. elementtir ve periyodik tablonun V. grubunda yer almaktadır [2]. İçme suyu ve tarım arazilerinde As kontaminasyonu küresel bir sorundur. Jeojenik ve antropojenik kaynaklardan As doğaya yayılmaktadır. Ayrıca As, pestisitler, ahşap koruyucular, madencilik ve eritme işlemleri gibi insan faaliyetleri sonucunda oluşmaktadır [3]. As, kirlenmiş toprakta ve suda genel olarak arsenit As(III) ve arsenat As(V) formlarında bulunmaktadır. Arsenik formlarının toksisitesi oksidasyon durumlarına ve kimyasal yapısına bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca, As(III)'in toksisitesi As(V)'tan 60 kat daha yüksektir ve kanserlere, kardiyovasküler ve solunum yolu hastalıklarına neden olmaktadır [4]. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından içme suyunda izin verilen As sınır değeri 10 µg/L olarak belirlenmiştir [5]. Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'nde ise, içme suyunda izin verilen arsenik sınır değeri 10 µg/L'dir. Bu yönetmelikte arseniğin kıta içi su kaynaklarına göre sınır değerleri, 1. kalite suda 20 µg/L, 2. kalite suda 50 µg/L, 3. kalite suda 100 µg/L ve ve 4. kalite suda > 100 µg/L olarak belirlenmiştir [6].

Arsenik insan sağlığı üzerinde ciddi bir tehdittir ve kontamine su ve toprak ortamlarından uzaklaştırılması büyük önem arz etmektedir [7]. Günümüzde, As gideriminde koagülasyon/filtrasyon, iyon değişimi, kireç ile yumuşatma, adsorpsiyon ve ters ozmoz gibi çeşitli fiziksel ve kimyasal yöntemler kullanılmaktadır [8]. Ancak bu yöntemlerin pahalı olması, düşük arıtma verimliliğine sahip olmaları, ikincil kirlilik oluşumu gibi bazı olumsuz özellikleri bulunmaktadır [9]. Mikroorganizmalar kullanılarak yapılan biyoremediasyon çalışmalarında umut verici sonuçlar elde edilmektedir [10]. Biyoremediasyon prosesinin çevre dostu olması, uygulama kolaylığı ve maliyeti düşürmesi açısından konvansiyonel yöntemlere göre birçok avantajı vardır [11]. Biyoremediasyon teknolojileri, sudan As çöktürmek/adsorbe etmek için kimyasallar yerine mikroorganizmaları kullanan araştırmaların odak noktası olmuştur ve atıksulardan As arıtımı için daha fazla ilgi görmeye başlamıştır [12]. Ayrıca, bu proseste kullanılan mikroorganizmaların metallere karşı yüksek affinitesinin olması nedeniyle ağır metal iyonlarının neden olduğu çevre sorunlarını çözmek için biyoremediasyon konvansiyonel metotlara önemli bir alternatiftir [13]. As çoğu organizma için toksik olmasına rağmen, mikroorganizmalar As'nin biyojeokimyasal döngüsünde çok önemli bir rol oynar ve daha az zehirli formuna dönüştürebilir. Adsorpsiyon, demetilasyon, biyometilasyon, kompleksleşme, kopresipitasyon ve oksidasyon-redüksiyon işlemleri gibi çeşitli mikrobiyal mekanizmalar vardır. Bu mekanizmalar sayesinde mikroorganizmalar As gidermektedir [14]. Yabancıl suşlarla yapılan biyoremediasyon işlemlerinde, suşların metalleri bağlama kapasitelerinin sınırlı olması ve yüksek konsantrasyonlarda metal içeren ortamlarda metabolik aktivitelerinin durması nedeniyle arıtım olumsuz yönde etkilenir [15]. Ağır metallerin atıksulardan uzaklaştırılmasını hedefleyen araştırmalar, hedef metaller için artan afinite, kapasite ve seçiciliğe sahip yeni türlerin tespit edilmesine odaklanmıştır [16]. Son yıllarda, genetik modifikasyon teknikleri kullanılarak bakterilerin metal bağlama kapasitelerinin artırılması büyük önem kazanmıştır [17]. Yüksek konsantrasyondaki ağır metaller ile kirlenmiş bölgelerde yaşayan mikroorganizmalar çeşitli genetik mekanizmalar geliştirerek metallerin zararlı etkilerine karşı direnç gösterirler. Genellikle, kirli bölgelerde hayatta kalma yetenekleri olan suşlar ortamdan izole edilerek, biyoremediasyon uygulaması için kullanılırlar. Bu suşlara ait genler izole edilerek plazmidlere aktarılır ve bakteriye tek bir gen veya gen kümesinin eksprese edilerek biyoremediasyon uygulamalarında daha dirençli hale gelen suşlar elde edilir [18]. Bakterilerin metal bağlama kapasitelerini artırmak için polihistidin, polisistein ve metallothionein (MT) gibi metal bağlayıcı proteinler veya peptitler aşırı eksprese edilerek bakterilerin metal bağlama kapasiteleri artırılmaktadır [19]. Son zamanlarda araştırmacılar, metal biyogideriminde, yüksek oranda sistein ve tiol (-SH) gruplarını içermesi nedeniyle ağır metalleri bağlama afinitesi yüksek proteinler olan metallothioneinlere (MT) odaklanmıştır. Bu konuda yapılmış olan çalışmalar göstermiştir ki, MT genini ifade eden rekombinant *E. coli* hücrelerinin, Cd, As ve Cu gibi metal biyoakümüülasyonunu arttırdığı görülmüştür [20, 21, 22]. MT'ler bakterilerden memelilere kadar çok çeşitli hücrelerde bulunmaktadır [23]. Memelilerde MT'ler, moleküler ağırlık, kodlanmış genler, amino asit içeriği ve metal bağlama yeteneği bakımından çeşitlilik gösteren dört farklı

izoformdan (MT1-MT4) oluşmaktadır [24]. MT'lerin; çinko (Zn), kadmiyum (Cd) ve bakır (Cu) gibi metallerin detoksifikasyonu, homeostazi ve serbest radikallerin temizlenmesi gibi çeşitli biyolojik işlemlere katıldıkları bilinmektedir [25]. MT1 ve MT2 neredeyse tüm dokularda bulunan izoform proteinlerdir, MT3 ve MT4 ise sadece özelleşmiş hücrelerde bulunan küçük izoformlardır [26]. MT2 olarak da bilinen yüksek oranda eksprese edilen insan metallothioneini MT2A, metalotionein ailesinin önemli bir alt tipidir [27]. Bu protein, çeşitli hücre işlemlerine katılır ve metal iyonları ile şelatlar oluşturduğu, kapsamlı reaktif oksijen türlerini (ROS) temizlediği ve antioksidan enzimleri aktive ettiği bilinmektedir [28]. Ayrıca, yüksek ağır metal bağlama kabiliyetleri nedeniyle, hem MT'lerin hem de MT'yi aşırı eksprese eden rekombinant bakterilerin, biyogiderim çalışmalarında biyomateryal olarak büyük potansiyele sahip olduğu da ileri sürülmüştür [28]. MT3 beyinde bulunur ve metal bağlayıcı özelliklere sahiptir [29]. Bu konuda yapılmış olan çalışmalarda, MT3'ün MT1 ve MT2'den daha yüksek metal bağlama kapasitesine sahip olduğu tespit edilmiştir [29].

Bu çalışmada, insan metalloproteinlerden MT2 ve MT3'ün sulu çözeltilerden As giderme kapasitesinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla bu genler konakçı *E. coli* Jm109 suşuna klonlanmış ve elde edilen rekombinant suşların As biyoremediasyonundaki etkinliği yabancı *E. coli* Jm109 suşuyla karşılaştırılmıştır. Bunun için hücrelerin As biyobirikim kapasitesi ve morfolojik yapılarındaki değişim belirlenmiştir. Böylece, As biyogideriminde hangi suşun daha etkili olduğu ve As'nin hücrelerle nasıl etkileştiği tespit edilmiştir.

2. Materyal ve Metod

2.1. Plazmitler ve suşlar

MT2 ve MT3 CDS gen fragmanları ticari olarak Twist Bioscience firması tarafından sentezlenmiştir. Bu fragmanlar ve pET21 plazmidi daha sonra çift sindirilmiş ve EcoRI ve NotI kısıtlama enzimleri kullanılarak bağlanmıştır. Dönüştürmeden önce, *E. coli* Jm109 ATCC 53323 bakteri hücreleri, CaCl₂ yöntemi kullanılarak yetkin hale getirilmiştir. Ardından hücreler, seçim için LB agar ve ampisilin, mavi/beyaz tarama için X-gal ve hücre büyümesinin uyarılması için IPTG içeren plakalara yayılmıştır. Ardından, kit protokolüne göre Qiagen QIAprep Spin Miniprep Kiti (Cat no: 27104) kullanılarak seçilen kolonilerden plazmitler izole edilmiştir. Genlerin klonlandığını doğrulamak için, izole edilmiş plazmitler için dizileme kitaplıkları hazırlanmış ve Miseq platformu kullanılarak dizilenmiştir.

2.2. Minimum İnhibisyon Konsantrasyonunun (MİK) belirlenmesi

Minimum İnhibisyon Konsantrasyonu (MİK), bir mikroorganizmanın büyümesini inhibe eden en az metal konsantrasyonudur [30]. MİK'i belirlemek için suşlar 10-1000 ppm aralığında değişen arsenik trioksit (As₂O₃) konsantrasyonlarına sahip ortamda, çalkalamalı bir inkübatörde 120 rpm çalkalama hızında, 37 °C'de 96 saat boyunca inkübe edildi. 0, 2, 4, 8, 12, 24, 48, 72 ve 96 saatlik inkübasyonda suşların besiyerlerinden örnekler alındıktan sonra, örneklerin biyokütle yoğunlukları bir mikropilaya okuyucu (Thermo Flash 2000) ile 600 nm'de ölçüldü. Aynı zamanda, Nutrient Agar kullanılarak üç kopya halinde canlı hücreler sayıldı ve biyokütle yoğunlukları desteklendi. Bu sonuçlara dayanarak, Andrews (2001)'in yöntemine göre MİK değerleri belirlendi [31].

2.3. Biyogiderim deneyleri

Biyogiderim deneylerinde, 0,01 ppm, 0,1 ppm ve 1 ppm As içeren solüsyonlar *E. coli* Jm109, *E. coli* MT3 ve *E. coli* MT2 hücrelerine uygulandı ve 24 saat inkübe edildi. Bu suşların kontrollerine As uygulaması yapılmadı. Besiyerinde kalan As miktarını belirlemek için 24 saatlik inkübasyonun sonunda besiyerindeki kültürden örnekler alındı. Vorteksle homojenize edilen numunelerden 1 ml alınarak steril bir tüpe aktarıldı, 10000 rpm'de 10 dakika santrifüj edildi, gözenek çapı 0.45 mikrometre olan bir

filtreden süzülür, süzüntüde kalan örnek 1/100 oranında seyreltilir ve As miktarı Adıyaman Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı'nda İndüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi (ICP-MS; Perkin Elmer & Nexion 350X) kullanılarak belirlenir. Hücre içi birikimi belirlemek için bir önceki aşamada santrifüjden sonra çökmüş hücrelere 1 ml 10 mM EDTA (Merck) solüsyonu ilave edilir. Çöken hücrelerin üstüne 1M HNO₃'den 1 ml ilave edilir, 2500 rpm'de 3 dakika vortekslenir ve 10000 rpm'de 10 dakika santrifüjlenir. Daha sonra süzüntülerdeki As miktarı, 1/100 oranında seyreltmeden sonra ICP-MS'de ölçülür.

2.4. Taramalı elektron mikroskopu (SEM) görüntü analizleri

Hücrelerin morfolojik yapılarının görüntülenmesi için hücreler, As'li ve As'siz 50 ml LB ortamına (50 ppm As) ekilir ve 24 saat boyunca 37°C'de 120 rpm'de inkübe edilir. Örnekler daha sonra 5000 rpm'de 30 dakika süreyle santrifüjlenir. Süpernatant atılır, pelletler üç kez bir fosfat tamponu ile yıkanır (PBS, pH 7.2) ve daha sonra %2.5 glutaraldehide 4 °C'de 4 saat boyunca maruz bırakılarak ön sabitleme yapılır. Ardından hücreler, PBS ile iki kez daha yıkanır ve %1 osmiyum tetraoksit 1 saat boyunca maruz bırakılarak daha iyi sabitlenir. Sabitlenmiş hücreler, PBS tamponu ile iki kere daha yıkandıktan sonra sırasıyla %15, %30, %60, %90 ve %100 konsantrasyonlarındaki asetonla muamele edilerek suları uzaklaştırılır. Son olarak, kritik olarak kurutulmuş numuneler altın-platin (Quorum) ile kaplanır ve SEM ve EDX (Zeiss & Evo LS 10, Almanya) analizleri yapılır.

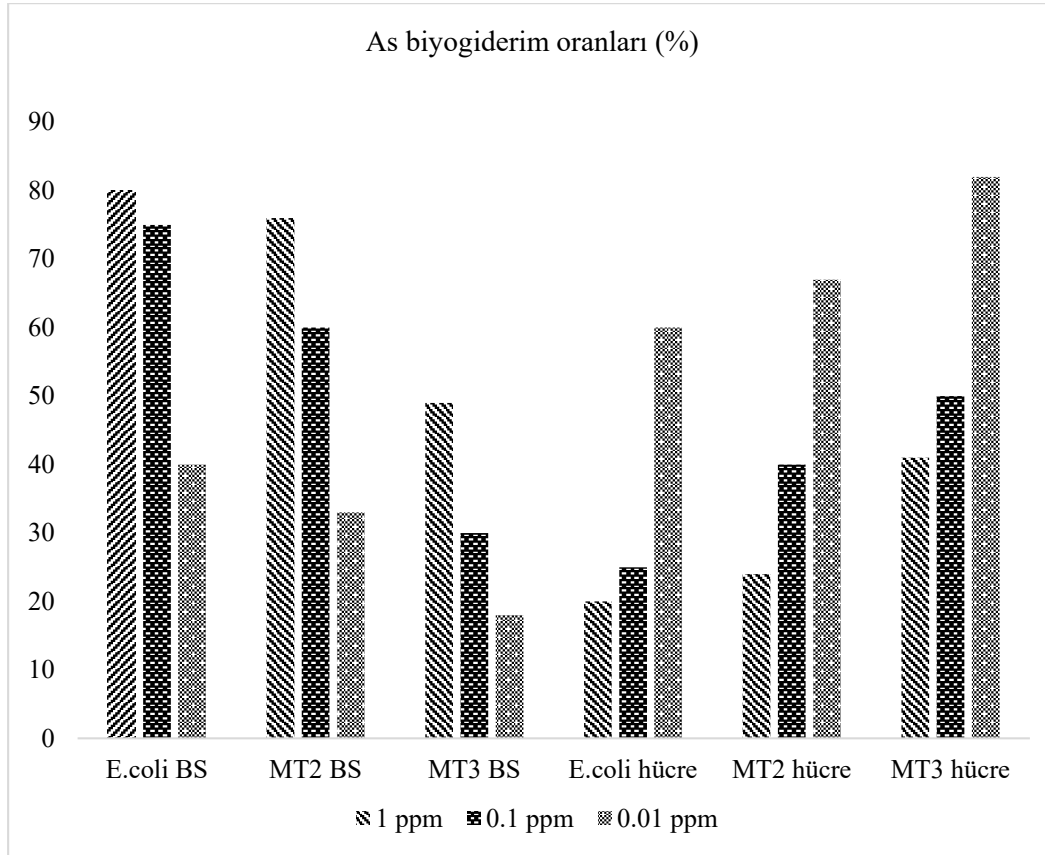
3. Sonuçlar ve Tartışma

MİK değerleri *E. coli* Jm109 için 20 ppm, *E. coli* MT2 için 48 ppm, *E. coli* MT3 için 60 ppm olarak belirlenmiştir. Buradan, MT3 geninin bakterinin As'ye direncini 3 kat arttırdığı, MT2 geninin ise 2,4 kat arttırdığı görülmektedir. Literatürde çeşitli suşların As MİK değerlerinin belirlenmesine dair çalışmalar bulunmaktadır. *Agrobacterium tumefaciens* LBA288, *Stenotrophomonas* sp. LM24R ve *Pseudomonas* sp. OS20R suşlarının As MİK değerlerinin sırasıyla 1 mM, 5 mM ve 10 mM olduğu bulunmuştur [32]. Bizim çalışmamızda MT geni klonlanmış suşların yabancı suşa göre MİK değerlerinin daha yüksek bulunması, bu metalloproteinlerin As'yi şelatlamış olabileceğine yorulabilir [13].

Hücrelere farklı konsantrasyonlarda (1 ppm, 0,1 ppm, 0,01 ppm) 24 saat boyunca As uygulanması sonucu besiyerinde kalan ve hücre yüzeyi ile hücre içinde biriken toplam As biyogideriminin % oranları Şekil 1'de gösterilmiştir. Besiyerinde kalan As miktarları suşlara göre kıyaslandığında, en fazla *E. coli* Jm109'da, daha sonra *E. coli* MT2'de ve en az *E. coli* MT3'de As kalıntısının olduğu gözlenmiştir. Hücre yüzeyi + Hücre içi toplam biyogiderim oranları değerlendirildiğinde, en fazla biyogiderimi *E. coli* MT3 suşunun yaptığı tespit edilmiştir. Uygulanan As konsantrasyonlarına göre biyogiderim oranları karşılaştırıldığında ise en fazla biyogiderimin en düşük As uygulama dozu olan 0,01 ppm'de olduğu (*E. coli* Jm109 için %60; *E. coli* MT2 için %67; *E. coli* MT3 için %82) ve doz miktarı arttıkça biyogiderim oranının düştüğü görülmüştür. 0,1 ppm konsantrasyonunda As uygulandığında, *E. coli* Jm109, *E. coli* MT2 ve *E. coli* MT3 hücrelerinde sırasıyla %25, %40, %50 oranlarında; 1 ppm As uygulandığında ise %20, %24, %41 oranlarında As giderildiği belirlenmiştir. 0,01 ppm As uygulamasında, *E. coli* MT3 suşunun sırasıyla *E. coli* MT2 ve *E. coli* Jm109 suşlarından 1,22 kat ve 1,36 kat; 0,1 ppm As uygulamasında 1,25 kat ve 2 kat; 1 ppm As uygulamasında ise 1,7 kat ve 2,05 kat daha fazla As bağladığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlardan görüleceği üzere, rekombinant suşların As biyogiderim kapasitesi yabancı suşa göre daha fazladır.

Bulgularımıza benzer olarak, insan MT1A geninin klonlandığı *E. coli* rekombinant suşunun arsenit (As III) biyobirikim kapasitesinin, kontrole kıyasla 76,3 µg/g'dan 319,6 µg/g'a yükseldiği, yani 3 kattan fazla arttığı tespit edilmiştir [15]. Bir başka çalışmada, yine insan MT1A geninin klonlandığı *E. coli* hMT-1A suşunun As biriktirme kapasitesinin kontrole göre arttığı ve hücre içinde 7,59 mg /g oranında As biriktirdiği tespit edilmiştir. Ayrıca MT geninin üç kat fazla ifade edildiği rekombinant

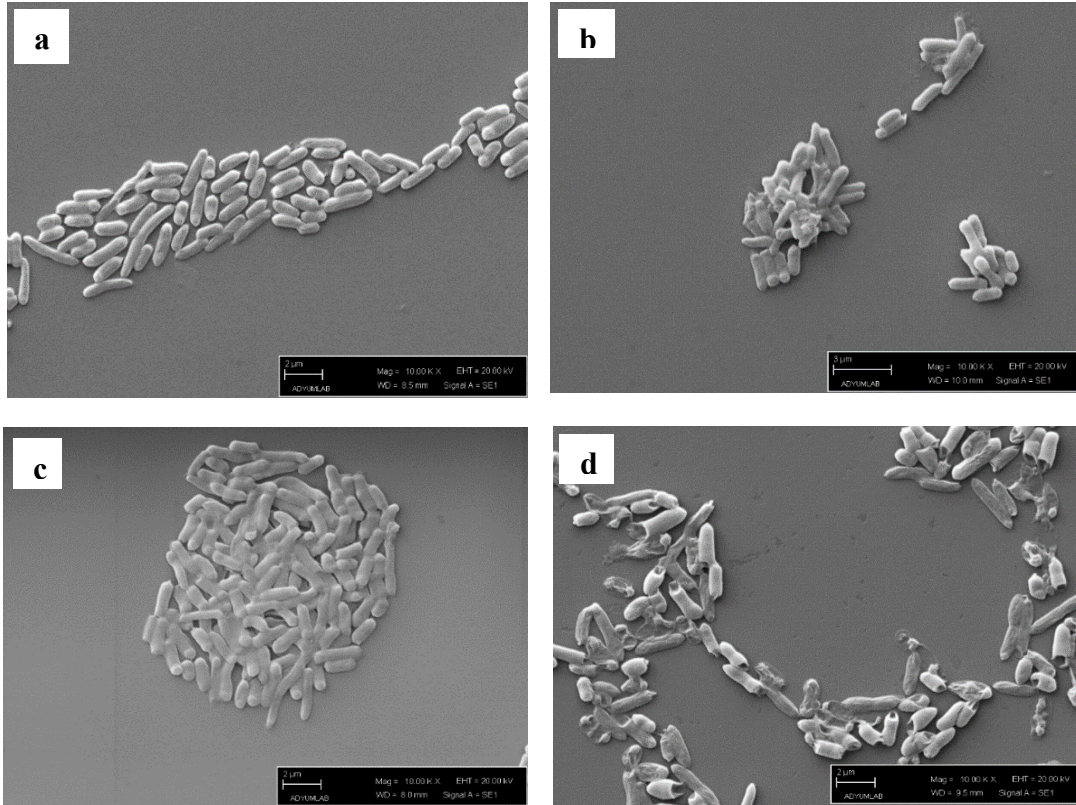
suşun MT genini bir kez ifade eden suşa göre besi ortamından 1,8 kat daha fazla As giderdiği de bulunmuştur [33]. Singh ve diğ. [34]'nin *Bacillus aryabhatai* bakterisinin As tolerans mekanizmasını araştırdıkları bir çalışmada, 25 mg/L arsenat (As V)'a 48 saat maruz kaldıktan sonra As'nin hücre içi birikiminin arttığını gözlemlemişlerdir ancak bu birikim bizim bulgularımızla kıyaslandığında çok düşük oranlarda (%10) kalmıştır. Bu farklılığın nedenini, uygulanan As formunun, uygulama süresinin ve kullanılan suşun farklı olmasına bağlayabiliriz. Aguilar ve diğ. [2] altın madenciliği alanındaki topraktan izole ettikleri *Bacillus cereus* ve *Lysinibacillus boronitolerans* yabancı suşlarının kültür ortamından %69,38 - %71,88 oranlarında arsenit ve %82,39 - %85,72 oranlarında arsenatı kültür ortamından uzaklaştırdığını tespit etmişlerdir. Bizim çalışmamızda %60-%82 oranlarında tespit ettiğimiz biyogiderim oranları bu çalışmanın aralığına girmektedir ancak orada kullanılan türlerin As'ye doğal dirençli yabancı türler olduğunu göz önünde bulundurulmalıdır. As gideriminde rekombinant bakterilerin kullanıldığı bir çalışmada, arsenit oksidazın küçük ve büyük alt birimlerini kodlayan TTHB128 ve TTHB127 genleri, *Thermus thermophilus* HB8'e klonlanmış, elde edilen rekombinant bakteri ile 28 saat sonra arsenit içeren besiyerindeki arsenitin %87,6'sının oksitlendiği tespit edilmiştir [35]. *Agrobacterium tumefaciens* ve *Stenotrophomonas* sp. yabancı suşlarına plazmid pARS1'in klonlanması sonucu elde edilen rekombinant suşların As (III)'e toleranslarının önemli ölçüde arttığı tespit edilmiştir (*A. tumefaciens*'in direnci 1 mM'dan 20 mM'a; *Stenotrophomonas* sp.'nin direnci 5 mM'dan 20 mM'a yükselmiştir) [32]. Literatür araştırmalarından ve bizim sonuçlarımızdan görüleceği üzere, rekombinant suşların As biyogiderim kapasitesi yabancı suşlara göre daha fazladır. Giderim oranları, klonlanan genin tipine ve kullanılan bakteri türüne göre değişmektedir. Bizim bulgularımızda, MT genleri arasında bir kıyaslama yapılacak olursa, MT3 geninin MT2 geninden daha fazla As bağlama yeteneğine sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 1. *E. coli* Jm109, *E. coli* MT2 ve *E. coli* MT3 suşlarının As biyogiderim oranları (%)

BS: Besiyeri; Hücre: Hücre yüzeyi ve hücre içinde biriken toplam As değerlerini ifade etmektedir.

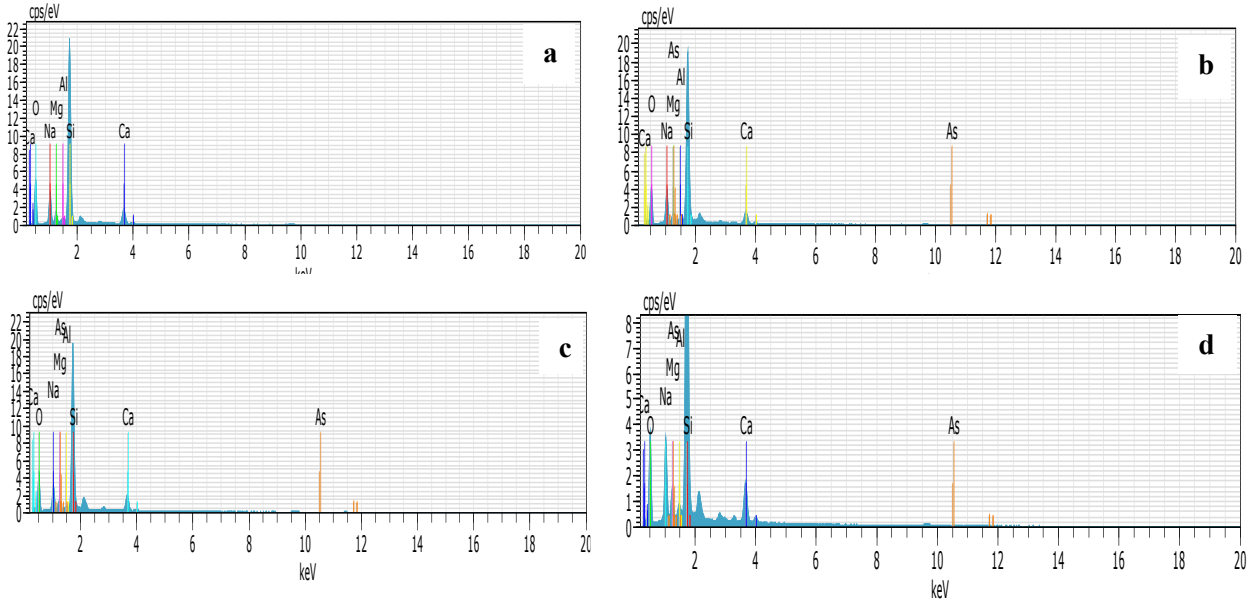
Hücrelerin SEM görüntüleri Şekil 2’de gösterilmiştir. As uygulanmamış *E. coli* Jm109 hücreleri (Şekil 2a) kontrol olarak kabul edilmiş, As uygulanmış diğer hücreler (Şekil 2b, 2c, 2d) bu kontrol grubuyla karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Buna göre, kontrol grubu hücrelerin yüzeyinin düzgün, tek tek ayrılmış ve oldukça pürüzsüz olduğu görülmüştür. As uygulanmış *E. coli* Jm109 hücrelerinin (Şekil 2b) üst üste bindiği ve yüzeylerinin dağılmış şekilde olduğu gözlenmiştir. As uygulanmış MT2 hücrelerinin (Şekil 2c) birbirine yapıştığı, kontrol grubuna göre biraz uzadığı ve hafif süngerleşmiş görünümde olduğu, As uygulanmış MT3 hücrelerinin ise uç kısımlarının kırıldığı, bazı hücrelerin yassılaştığı ve ezilmiş durumda olduğu gözlenmiştir.



Şekil 2. Hücrelerin SEM görüntüsü **a)** Kontrol (As uygulanmamış) **b)** 1 ppm As uygulanmış *E. coli* Jm109 **c)** 1 ppm As uygulanmış *E. coli* MT2 **d)** 1 ppm As uygulanmış *E. coli* MT3

Hücrelerin EDS spektrumları Şekil 3’de gösterilmiştir. As uygulanmamış hücrelerin EDS spektrumunda As zirvesi gözlenmemekle birlikte (Şekil 3a), As uygulanmış hücrelerin EDS spektrumunda (Şekil 3b, 3c, 3d) görülen As zirveleri, bu hücrelerin yüzeyine As’nin absorplandığını kanıtlamıştır. EDS piklerinin tablolarında, hücrelerin As bağlama kapasitelerinin sırasıyla MT3, MT2 ve *E. coli* Jm109 olduğu görülmüştür. Kawa ve diğ. [36], As uyguladıkları *Citrobacter* sp. A99 suşunun SEM görüntülerinde hücrelerin şekillerinin kontrol grubuna göre çok bozulmuş olduğunu, EDS piklerinin de yüksek olduğunu rapor etmişlerdir. Singh ve diğ. [34], *Bacillus aryabhatai*’ye 48 saat boyunca As(V) uygulamaları sonucu, As(V) uygulanmamış kontrol grubu hücrelerinin SEM mikrograflarında, pürüzsüz yüzeyli, dairesel ve çubuk şeklinde görüldüğünü, As(V) uygulanmış hücrelerin ise düzensiz, genişlemiş, pürüzlü ve buruşuk görünümler gösterdiğini ve bu hücrelerin ortalama çapının, kontrol hücreleriyle karşılaştırıldığında belirgin şekilde daha küçük olduğunu belirtmişlerdir. Drewniak ve diğ. [32] As’nin *Stenotrophomonas* sp. bakterisinin hücre bütünlüğü üzerindeki etkisini ve As-sorpsiyon kapasitesini belirlemek için yaptıkları SEM/EDS analizlerinde, As uygulanmamış bakteri hücrelerinin nanotel benzeri yapılarla birbirine bağlı çubuk şekilli olduğunu, As

uygulanmış hücrelerin ise çubuk şeklinin dağıldığını, hücrelerin birbirinden uzaklaştığını ve nanotel benzeri yapının daha uzun olduğunu gözlemlemişlerdir. EDS piklerinin de As varlığını doğruladığını belirtmişlerdir. Literatür araştırmalarından da görüleceği üzere, As'yi absorbe etmiş bakteri hücrelerinin morfolojisi kontrol hücrelerine göre daha bozuk şekillidir ve As pikleri de bulunmaktadır.



Şekil 3. Hücrelerin EDS analizi **a)** Kontrol (As uygulanmamış) **b)** 1 ppm As uygulanmış *E. coli* Jm109 **c)** 1 ppm As uygulanmış *E. coli* MT2 **d)** 1 ppm As uygulanmış *E. coli* MT3

4. Sonuç

Çalışmanın sonuçlarından *E. coli* Jm109, *E. coli* MT2 ve *E. coli* MT3 suşlarının üçünün de As uzaklaştırma kapasitesine sahip olduğu ve en yüksek kapasiteye sahip suşun *E. coli* MT3 olduğu belirlenmiştir. Hücrelerin As kalıntısı sonuçları ve mikroskobik görüntüleri, genetiği değiştirilmiş suşların yüksek As birikimi nedeniyle, gelecekte As uzaklaştırma ve geri kazanımı için uygulama potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir. Bu çalışmanın bulgularına dayanarak, özellikle *E. coli* MT3 suşu veya MT3 proteininin sulardan As'nin biyolojik olarak uzaklaştırılmasında bir araç olarak kullanılabileceği sonucuna varabiliriz.

Teşekkür

Bu çalışma; Adıyaman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından MUFMAP/2017-0002 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Oremland RS, Stolz JF, Arsenic, microbes and contaminated aquifers. Trends Microbiology 2005; 13: 45–49.
- [2] Aguilar NC, Faria MCS, Pedron T, Batista BL, Mesquita JP, Bomfeti CA, Rodrigues JL, Isolation

- and characterization of bacteria from a brazilian gold mining area with a capacity of arsenic bioaccumulation. *Chemosphere* 2020; 240: 124871.
- [3] Tripathi RD, et al. Arsenic hazards: strategies for tolerance and remediation by plants. *Trends Biotechnology* 2007; 25: 158–165.
- [4] Khanam R, et al. Metal(loid)s (As, Hg, Se, Pb and Cd) in paddy soil: Bioavailability and potential risk to human health. *Science of the Total Environment* 2020; 699: 134330.
- [5] Jebelli MA, et al. Isolation and identification of the native population bacteria for bioremediation of high levels of arsenic from water resources. *Journal of Environmental Management* 2018; 212: 39–45.
- [6] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği. 2004.
- [7] Akinci G, Guven DE, Bioremediation of heavy metals contaminated sediment by pure and mixed cultures of *Acidithiobacillus* spp. *Desalination* 2011; 268: 221–226.
- [8] Nicomel NR, et al. Technologies for Arsenic Removal from Water: Current Status and Future Perspectives. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2016; 13(1): 62.
- [9] Akkoyun MB, et al. Resistance, removal, and bioaccumulation of Ni (II) and Co (II) and their impacts on antioxidant enzymes of *Anoxybacillus mongoliensis*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology* 2020; 235:108790.
- [10] Sobariu DL, et al. Rhizobacteria and plant symbiosis in heavy metal uptake and its implications for soil bioremediation. *New Biotechnology* 2017; 39: 125–134.
- [11] Vural A, et al. Biyoremediasyon ve Fungusların Biyoremediasyonda Kullanılması. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi* 2018; 28: 490–501.
- [12] Teclu D, et al. Bioremediation of arsenic species from contaminated waters by sulfate-reducing bacteria. *Water Research* 2008; 42: 4885–4893.
- [13] Sharma B, Shukla P, Lead bioaccumulation mediated by *Bacillus cereus* BPS-9 from an industrial waste contaminated site encoding heavy metal resistant genes and their transporters. *Journal of Hazardous Materials* 2021; 401: 123285.
- [14] Singh R, et al. Arsenic contamination, consequences and remediation techniques: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 2015; 112: 247–270.
- [15] Su YJ, et al. Bioaccumulation of Arsenic in recombinant *Escherichia coli* expressing human metallothionein. *Biotechnology and Bioengineering* 2009; 14: 565–570.
- [16] Gupta S, Singh D, Role of Genetically Modified Microorganisms in Heavy Metal Bioremediation, in: *Advances in Environmental Biotechnology* 2017; 197–214.
- [17] Mejáre M, Bülow L, Metal-binding proteins and peptides in bioremediation and phytoremediation of heavy metals. *Trends in Biotechnology* 2001; 19: 67–73.
- [18] Das S, et al. Genetic basis and importance of metal resistant genes in bacteria for bioremediation of contaminated environments with toxic metal pollutants. *Applied Microbiology and Biotechnology* 2016; 100: 2967–2984.
- [19] Kim SK, et al. Selective cadmium accumulation using recombinant *Escherichia coli*. *Journal of Bioscience and Bioengineering* 2005; 99:109–114.
- [20] Deng X, et al. Cadmium removal from aqueous solution by gene-modified *Escherichia coli* JM109. *Journal of Hazardous Materials* 2007; 139: 340–344.
- [21] Singh S, et al. Highly selective and rapid arsenic removal by metabolically engineered *Escherichia coli* cells expressing *Fucus vesiculosus* metallothionein. *Applied and Environmental Microbiology* 2008b; 74: 2924–2927.
- [22] Sekhar K, et al. Metallothionein 1 (CcMT1) of pigeonpea (*Cajanus cajan*, L.) confers enhanced tolerance to copper and cadmium in *Escherichia coli* and *Arabidopsis thaliana*. *Environmental and Experimental Botany* 2011; 72: 131–139.
- [23] Ruttkay-Nedecky B, et al. The Role of Metallothionein in Oxidative Stress. *International Journal of Molecular Sciences* 2013; 14(3): 6044–66.
- [24] Thirumoorthy N, et al. A Review of Metallothionein Isoforms and their Role in Pathophysiology. *World Journal of Surgical Oncology* 2011; 9: 54.

- [25] Sakulsak N, et al. Metallothionein: An Overview on its Metal Homeostatic Regulation in Mammals. *International Journal of Morphology* 2012; 30: 1007–1012.
- [26] Yang XY, et al. Metallothionein 2A genetic polymorphism and its correlation to coronary heart disease. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences* 2014; 18: 3747–3753.
- [27] He Y, et al. Expression of metallothionein of freshwater crab (*Sinopotamon henanense*) in *Escherichia coli* enhances tolerance and accumulation of zinc, copper and cadmium. *Ecotoxicology* 2014; 23: 56–64.
- [28] Toriumi S, et al. Metal Binding Ability of Metallothionein-3 Expressed in *Escherichia coli*. *Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology* 2005; 96: 295–301.
- [29] Palumaa P, et al. Metal binding to brain-specific metallothionein-3 studied by electrospray ionization mass spectrometry. *Cellular and Molecular Biology* 2003; 49: 763–768.
- [30] Manasi Rajesh V, et al. Biosorption of cadmium using a novel bacterium isolated from an electronic industry effluent. *Chemical Engineering Journal* 2014; 235: 176-185.
- [31] Andrews JM, Determination of minimum inhibitory concentrations. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy* 2001; 48: 5–16.
- [32] Drewniak L, Construction of the recombinant broad-host-range plasmids providing their bacterial hosts arsenic resistance and arsenite oxidation ability. *Journal of Biotechnology* 2015; 196–197: 42-51.
- [33] Ma Y, et al. Cd(II) and As(III) bioaccumulation by recombinant *Escherichia coli* expressing oligomeric human metallothioneins. *Journal of Hazardous Materials* 2011; 185: 1605–1608.
- [34] Singh N, et al. Arsenic mediated modifications in *Bacillus aryabhattai* and their biotechnological applications for arsenic bioremediation. *Chemosphere* 2016; 164: 524-534.
- [35] Yang C, Construction of a genetically engineered microorganism with high tolerance to arsenite and strong arsenite oxidative ability. *Journal of Environmental Science and Health Part A* 2010; 45: 740–745.
- [36] Kawa YK, et al. Reductive dissolution and release of arsenic from arsenopyrite by a novel arsenate respiring bacterium from the arsenic-contaminated soils. *International Biodeterioration & Biodegradation* 2019; 143: 1047122.

PLC VE SCADA ENTEGRASYONLU HİDROELEKTRİK SANTRALİN PROTOTİP TASARIMI, İMALATI VE 3B YAZICI İLE TÜRBİN ÜRETİMİ

Özkan POLAT¹, Mustafa Can BULUT², İsacan DÖNMEZ³, Koray ÖZSOY^{4*}

¹⁻²⁻³Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Isparta, 32100, Türkiye

⁴Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Senirken MYO, Elektrik ve Enerji Bölümü, Isparta, 32100, Türkiye

Geliş tarihi: 20.05.2021 Kabul tarihi: 24.06.2021

ÖZET

Çalışmada, hidroelektrik santral (HES)'in gerçek bir santral göz önünde bulundurularak HES prototip cihazının tasarımı, imalatı ve kontrol yazılımı gerçekleştirilmiştir. Dünya'da endüstriyel olarak birçok sistemde ve enerji üretim tesislerinde kullanılmakta olan PLC (Programlanabilir Mantık Denetleyiciler) ve SCADA (Gözetleyici Kontrol ve Veri Toplama Sistemi) ile kontrol kumanda sistemi gerçekleştirilmiştir. Afyonkarahisar ili Dinar ilçesinde yer alan 3 MW kurulu güce sahip HES santralinin çalışma şartları SCADA ortamına aktarılıp, prototip cihazında görüntülenmiştir. Eğitim aracı ve materyali tasarımı yapılan HES Prototip cihazının üzerinde üretilen elektrik enerjisi, türbin çark açıklık yüzde değerleri ve suyun yüksekliğini ölçen veriler yer almaktadır. Akışkan debisi ve suyun devir sayısında değişimi, üretilen gerilim SCADA ekranı üzerinde gösterilmiştir. Böylece öğrencilerin santrale gitmeden, elektrik enerjisinin üretimindeki süreçleri kapsayan; elektromekanik kumanda sistemi, türbin ve jeneratör bölümü gerçekleştirilen HES cihazın prototip ile eğitimlerini uygulamalı olarak dersleri işleyebileceklerdir. Çalışmada, HES prototip cihazının mekanik tasarım ve imalatı, elektrik-elektronik sistem tasarımı ve montajı, PLC ve SCADA kontrol sistemleri ile prototip cihazının performans testi ve kontrolü için özgün yazılım geliştirilmiştir. Burada çark açıklığına bağlı olarak devir sensörü ve üretilen gerilim artmıştır. Çalışma ile HES prototip cihaz ülkemizde yer alan eğitim kurumlarında elektrik enerjisi üretim, iletim ve dağıtım derslerine temel altyapısı oluşturulmuştur. Ayrıca, gerçekleştirilen HES prototip santralin web üzerinden kontrol edilmesi ile COVID-19 gibi hastalıkların sebep olduğu pandemi sürecinde kontrol yazılımının eğitim (uzaktan eğitim) ve sanayi uygulamalarında kullanılabilirliğini artıracaktır.

Anahtar Kelimeler: PLC, SCADA, Hidroelektrik Santral, HES, Tasarım, İmalat, 3B yazıcı

DESIGN, MANUFACTURING OF HYDROELECTRIC POWER PLANT INTEGRATED WITH PLC AND SCADA AND PRODUCTION OF TURBINE WITH 3D PRINTER

ABSTRACT

In the study, the design, manufacture, and control software of the HEPP prototype device was carried out using the actual data of the hydroelectric power plant (HEPP). Control system has been performed by PLC (Programmable Logic Controller) and SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), which are used industrially in many systems and energy production plants globally. The operating conditions of the HEPP power plant with an installed power of 3 MW located in the Dinar of Afyonkarahisar province were transferred to the SCADA medium and shown on the prototype device. The electrical energy generated on the HEPP Prototype device, turbine wheel opening percentage values, and data measuring the height of the water are available. Fluid flow rate and the change in the number of water cycles, the generated voltage is shown on the SCADA screen by reflecting from the actual data. Therefore, without the students going to the power plant, covering the processes in

e-posta¹: ozkan.polat035@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6117-4835>

e-posta²: bulutmustafacan35@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9410-7727>

e-posta³: isa3can3@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3806-7625>

*e-posta⁴: korayozsoy@isparta.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8663-4446> (Sorumlu Yazar)

the generation of electrical energy, the control room, turbine, and generator section will teach the prototype and training of the HEPP device performed in the study. The study, mechanical design, and manufacture of HEPP prototype device, electrical-electronic system design, and assembly, PLC and SCADA control systems, HES actual data, and original software for performance testing and control of the prototype device were developed. With the study, the basic infrastructure of HEPP prototype device was established for electrical energy generation, transmission, and distribution lessons in educational institutions in our country. In addition, controlling the HEPP prototype power plant online (web) will increase the usability of the control software in education (distance education) and industrial applications during the pandemic process caused by diseases such as COVID-19.

Keywords: PLC, SCADA, Hydroelectric Plant, HEPP, Design, Manufacturing, 3D Printing

1. Giriş

Dünya nüfus artışına paralel olarak, ekonominin büyümesi, kentsel gelişim, yaşam standartlarının artması, teknolojik gelişmelerin hızlanması ve sanayileşme eşdeğer olarak dünyada enerji tüketimi her geçen yıl artmaktadır. [1]. Enerji tüketimindeki bu artış önümüzdeki yıllarda da devam edecektir. Enerji sektörünün günümüzde sürekli gündemde olmasının ana sebepleri; sera gazı etkisinin artması, fosil kökenli yakıtların bilinçsizce tüketimi ve azalması, küresel iklim değişikliği, ülkelerin enerji temini sorunu olarak belirlenmektedir [2]. Fosil yakıtların alternatifi olabileceği düşünülen yenilenebilir enerji kaynakları günümüzde geliştirilmesi ve büyütülmesi gereken enerji teknolojileri arasında yer almaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları, enerji kullanımı ve kaynağın tükenme hızından daha hızlı biçimde kendini yenileyip aynı kalabilen kaynaklardır. Fosil yakıtların hızla azalması, yüksek maliyetli olması ve çevre sorunlarına sebep olması yenilenebilir enerjinin önemini artırmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik enerjisi üretimi günümüzde yaygın olarak jeotermal ve hidrolik enerji, biyokütle enerjisi, güneş ve rüzgâr enerjisidir. Türkiye, yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitliliği ve potansiyeli bakımından zengin bir ülkedir. Türkiye’de dünya potansiyelinin %8’ine sahip jeotermal enerjiye, coğrafi konumu nedeniyle güneş enerjisine, yer şekil özelliklerin dolaylı hidrolik enerjiye ve ciddi bir rüzgâr enerjisi potansiyellerine sahiptir [3].

Yenilenebilir enerji kaynağı olan hidroelektrik enerjisinin geniş çaplı kullanım türü nehirlerin üstünde barajlar inşa edilerek suyu büyük bir alanda potansiyel olarak biriktirip suyun neden olduğu potansiyel enerjiden faydalanarak elektrik enerjisi üretilmektedir [4]. Yüksek seviyeden alçak seviye akan sudan elde edilen kinetik enerji ile türbinlerin dönmesiyle elektrik üretimi gerçekleştiren sisteme Hidroelektrik Santrali (HES) denir [5]. Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynakları içinde en önemli pay hidroelektrik kaynaklardır ve hidroelektriğin, pahalı olan elektriği ucuza üretme konusunda fiyatı dengeleyici bir rolü vardır. İthal edilmeyen yenilenebilir enerji kaynağı olan bu yenilenebilir enerji ülkenin enerji ihtiyacının giderilmesinde önemli bir yere sahiptir [6]. 2020 nisan ayı itibari ile işletmede bulunan 28.713,5 MW kurulu güce sahip 685 adet HES santrali bulunmaktadır. Elektrik üretimimizin %42,7’si HES santrallerinden karşılanmaktadır. Bu bağlamda, Türkiye’de hidroelektrik enerjisi potansiyeli açısından yüksek orana sahiptir ve bu potansiyelini üretim aşamasında avantaja dönüştürmüştür. Türkiye’nin, yenilenebilir enerji kaynakları açısından bulunduğu potansiyel konum oldukça avantajlı bir durum oluşturmakta, ilaveten bu durum stratejik ve ekonomik olarak Türkiye’nin değerini yükseltmektedir.

Literatür incelendiğinde, HES ile ilgili yapılan çalışmaların su biriktirme ve taşıma kapasitelerinin ve barajın içerisinde bulunan su seviyesinin tahmini, santraller için verimli olan türbin tercihi, nehir tipi santralin en uygun boyutlarının hesaplanması, küçük HES projelerinin maliyet değerlendirilmesi, HES işletme yönetimi gibi konular üzerinde çalışmalar görülmektedir. Ülkemizde su kaynakları üzerine inşaa edilen santraller, büyük havzalardaki su potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürülmesiyle elektrik enerjisi elde edilmesini sağlamaktadır [7]. Akarsu santrallerde su, baraj veya depolama yapılmadan bir kanal ya da tünel yardımıyla hız kazanarak türbin üzerine düşürülür. Türbin üzerine düşürülen suyun kinetik enerjisi türbin-generator sistemi ile elektrik enerjisine çevrilir. Türkiye’de 2019 yılı sonu itibariyle 558 adet kayıtlı akarsu tipi hidroelektrik santral bulunmaktadır. Akarsu tipi HES’lerin

doğal yaşama zararları depolamalı tipi HES'lere nazaran çok daha azdır. Kuruluş maliyetlerinin düşüklüğü, bölgesel uygulanabilirliği, doğa dostu olmaları bu tip santrallerin sayısının her geçen gün arttırmaktadır [8]. HES'ler akan suyun kinetik enerjisini kullanarak elektrik enerjisi üretirler. Suyun akış hızı akan su içindeki kinetik enerji miktarını belirler. Büyük bir nehirde akan su veya çok yüksek bir noktadan düşürülen su büyük miktarda enerji taşımaktadır. Büyük miktarda enerji taşıyan su kanal ya da borular yardımı ile türbinlere doğru akar ve elektrik üretimi için türbinlerin dönmesini sağlar. Akan su ile birlikte jeneratörlere bağlı olan türbinlerin dönmesiyle mekanik enerji elektrik enerjisine dönüştürülür.

HES'lerde türbin, kumanda odası, şalt sahası ve transformatör birimlerin kontrol ve otomasyonu günümüzde PLC ve SCADA ile gerçekleştirilmektedir. PLC endüstri otomasyon elektromekanik kumanda sistemlerinde kullanılan giriş / çıkış birimleri (ing. input/output) ve seri haberleşme arabirimleri içinde bulunduran, kontrol yapısına uygun belirli bir program altında çalışan bir bilgisayardır. Yapısında bulunan birçok giriş ve çıkış birimi ile cihazları kontrol edebilir [9]. Endüstriyel otomasyon sistemlerinde kullanılan SCADA, otomasyon süreçleri veri toplama işlemi, gözlemleme, denetim gibi işlemleri yapmak için kullanılmaktadır. SCADA sistemleri, fabrikadaki otomasyon süreçlerin denetimlerini yapan Remote Terminal Unit (RTU), PLC gibi kontrolör ile birlikte kullanımı tesisin üretim takibi ve kontrolüne yönelik alt yapı oluştururlar. Literatür incelendiğinde, ünite gücü 10MW'a kadar olan ve geniş bir aralıkta çalışabilen yatay eksenli francis tipi türbinlerin kullanıldığı nehir tipi küçük hidroelektrik santral (KHS) için bir SCADA sisteminin geliştirilerek, prototip imalatı gerçekleştirilmiştir [10].

3B baskı teknolojisi günümüzde sanayi sektöründe özellikle prototip üretiminde kullanılması ile büyük inovasyonlardan birisi olmuştur. 3 Boyutlu baskı teknolojisi, plastik veya metalik malzemelerin birbirleri üzerine eklenerek tasarımın ihtiyacı doğrultusunda katmanlar oluşturulması yolu ile 3B modellerin üretilmesini sağlayan bir teknolojidir [11]. 3B yazıcı teknolojileri, ürünü katman katman oluşturan eklemeli imalat yöntemidir [12]. Tasarımı hazırlanan parçalar, bilgisayar destekli tasarım (BDT) yazılımları ile oluşturulan 3B katı modellerden üretilirler [13]. Bu süreçte malzemenin katman katman eklenmesi ve dolayısıyla israf olan malzeme miktarının düşürülmesi, diğer yöntemlerle kıyaslandığında bu teknolojiyi daha verimli kılar [14]. Bu teknoloji, polimerleri kullanarak fiziksel modellerin prototiplerini olabildiğince hızlı bir şekilde üretmek için geliştirilmiştir [15]. Yeni ürün geliştirmedeki hataları ve devir sürelerini büyük oranda azaltarak ürünlerin piyasaya sürülmesini hızlandırır.

Çalışmada, gerçek HES'ten alınan gerçek elektrik üretim verileri ile eş zamanlı çalışan prototip hidroelektrik santralin mekanik tasarımı, imalatı, elektrik elektronik sistem tasarımı ve PLC-SCADA kontrol yazılımı gerçekleştirilmiştir. Afyonkarahisar ili Dinar ilçesinde yer alan 3MW kurulu güce sahip HES santralının çalışma şartları SCADA ortamına aktarılmış, HES prototip santralinde operatör panelinde görüntülenmiştir. HES prototip cihazında; elektrik enerjisi üreten dinamo, türbin çark açıklık dereceleri gösteren oransal vana, su seviyesinin ölçümü gerçekleştiren sıvı seviye sensörleri, suyun devir daimi gerçekleştiren pompa, PLC ve SCADA ekranı gösteren operatör panel yer almaktadır. Su akış oranı ve devir sayısındaki değişimleri, üretilen gerilim ile Dinar-II HES santralinde üretilen gerçek verilerden yansıtılarak SCADA ekranı üzerinde gösterilmiştir. Özellikle gerçek bir santralin verileri ile senkronize bir sistem geliştirilmiştir. Ayrıca ülkemizde yer alan eğitim kurumlarında Elektrik enerjisi üretim, iletim ve dağıtım derslerine temel altyapısı oluşturulmuştur. Böylece öğrencilerin HES santrale gitmeden, elektrik enerjisinin üretimindeki süreçleri kapsayan; kumanda odası, türbin ve jeneratör bölümü çalışmada gerçekleştirilen HES cihazın prototip ile eğitimlerini uygulamalı olarak dersleri işleme imkânı sunulmuştur. Bu sayede öğrencilerin zaman ve ulaşım sorunu, maliyet gibi faktörlerden elimine edilmesi sağlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

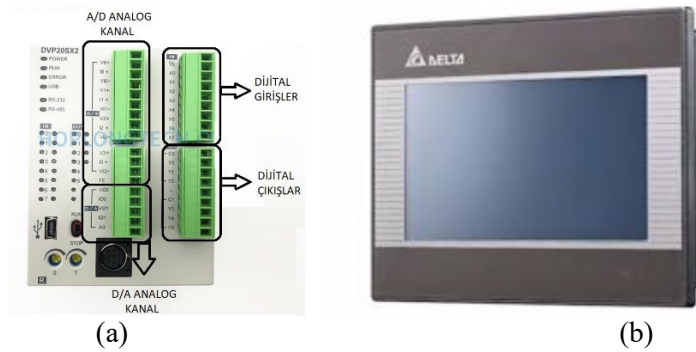
2.1 Materyal

Çalışmada, materyal olarak Delta DVP PLC, DOP HMI Panel, oransal vana, dalgıç pompa, su akış sensörü, sıvı seviye sensörleri kullanılmıştır.

2.1.1 Delta DVP PLC ve DOP HMI Panel

PLC içinde giriş/çıkış birimi olan, ardışık pozisyon kontrol yapabilen işlemci, zamanlayıcı-sayıcı, analog kanal gibi kontrol işlemlerinin gerçekleştirilebildiği kontrol sistemidir. Endüstriyel otomasyon sistemlerinde DELTA DVP PLC serisi dayanıklı, hızlı lojik işlemleri, ek modülleri ve geniş kapsamlı komut seçenekleri ile kullanıcılara ekonomik çözümler sunar. PLC-haberleşme protokolleri ile otomasyon sistemlerine kolayca entegrasyon sağlanabilir [16]. Çalışmada, Delta DVP SX2 PLC tercih edilmiştir. Şekil 1a'da gösterildiği gibi DVP SX2 PLC özellikleri; 8 giriş, 6 çıkış, 4 analog giriş, 2 analog çıkış bulunmaktadır. Analog giriş ve çıkışlar $-20\sim+20\text{mA}$, $-10\sim+10\text{V}$, $4\text{-}20\text{mA}$ şeklindedir. PLC üzerinde dahili RS-232 ve RS485 port, master veya slave yapılabilmek imkanına sahiptir.

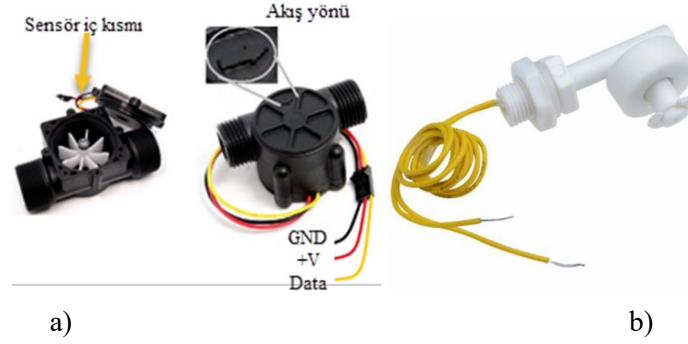
Çalışmada Şekil 1b'de gösterildiği gibi kullanılan Delta DOP B07411 HMI (İnsan – Makine Arayüzü) panel kullanılmıştır. Delta DOP B07411 HMI, ARM9 32-bit RISC işlemci kontrol edilmektedir. USB, RS232 ve RS-485 haberleşme protokollerine sahiptir. 7" ekran boyutuna sahip olup 65536 renk TFT LCD ekrana sahiptir. DOP aracılığıyla Delta PLC'ye ethernet ve USB üzerinden program yüklenebilmektedir [17].



Şekil 1. Kontrol elemanların görüntüsü a) Delta DVP- PLC SX2 a) HMI B07411 HMI

2.1.2 Devir ve Seviye Sensörleri

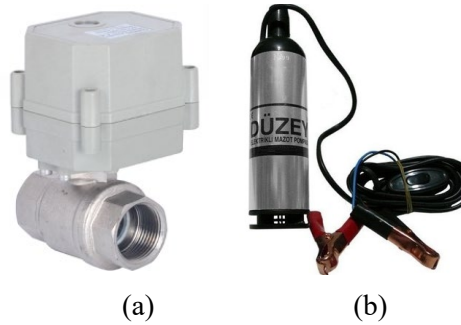
YF-S201 devir sensörü sızdırmazlık, kolay kullanılabilme ve dijital çıkış verme özelliklerine sahip su akış ve hidrolik basınç sensördür (Şekil 2a). Devir sensörü, içerisinden akan su pervaneyi döndürmesi ile devir sayısı çıkışını veren bir sensördür. Sensörün çalışma gerilimi DC5V-24V çalışma akımı ise 15mA'dır. Pervanenin tur sayısı hall-effect manyetik sensörler ile ölçülmektedir. Sensörün ölçüm yaptığı debi 1-30L/dakika ve su basıncı ise $\leq 75\text{MPa}$ şeklindedir. Şamandıralı sıvı seviye sensörü yüzer plastik gövdeye sahiptir. (Şekil 2b). Şamandıraya sıvı teması olduğu zaman yükselir ve kapalı duruma geçer ve kapalı bilgisini gönderir, sıvı teması kesildiği zaman ise açık duruma geri döner ve açık bilgisini gönderir. Sensörün maksimum anahtarlama voltajı 100V DC akımı ise 0.5A'dır. Sensörün dayanabileceği maksimum güç akımı ise 1A'dır.



Şekil 2. Sensörlerin dış görüntüsü a) YF-S201 devir sensörü b) Sıvı seviye sensörü

2.1.3 Elektrikli Oransal Vana ve Dalgıç Pompa

Oransal vana sistemdeki akışkanı, istenen anda durdurmaya, debisini ayarlamaya ya da akışını serbest bırakmaya izin veren vana çeşididir. Duravis EVP15-S2-C5 oransal vana 4-20 mA analog kontrol edilebilen 9-24V DC beslemeli ve 500 mA'e kadar akım çeken vanadır. (Şekil 3a). Dalgıç pompa tamamen sıvının içerisinde bulunacak şekilde kullanılan ve gövdesine yakın bir şekilde hava geçirmez olarak kapatılmış motorlu bir pompadır. Dalgıç tip pompaların faydası pompa kavitasyonunu önlemesidir. Dalgıç pompalar vakum oluşturan ve atmosferik basınca dayanan jet pompalarının aksine sıvıyı yüzeye iter [18]. Düzey DZY-24B dalgıç pompa rekor kalınlığı 14 mm olan, 340 gram ağırlıklı, uzunluğu 180 mm ve çapı 40 mm olan bir üründür. Ürünün basıncı 1 Bar'dır ve ürün 45-60 dk çalışma kapasitesi olup tam kapasite ile 10-15 lt/dk çalışarak suyu 3 metreye kadar yukarı aktarabilmektedir. Pompa 24V DC ile beslenip en fazla 2.5A çekmektedir (Şekil 3b).

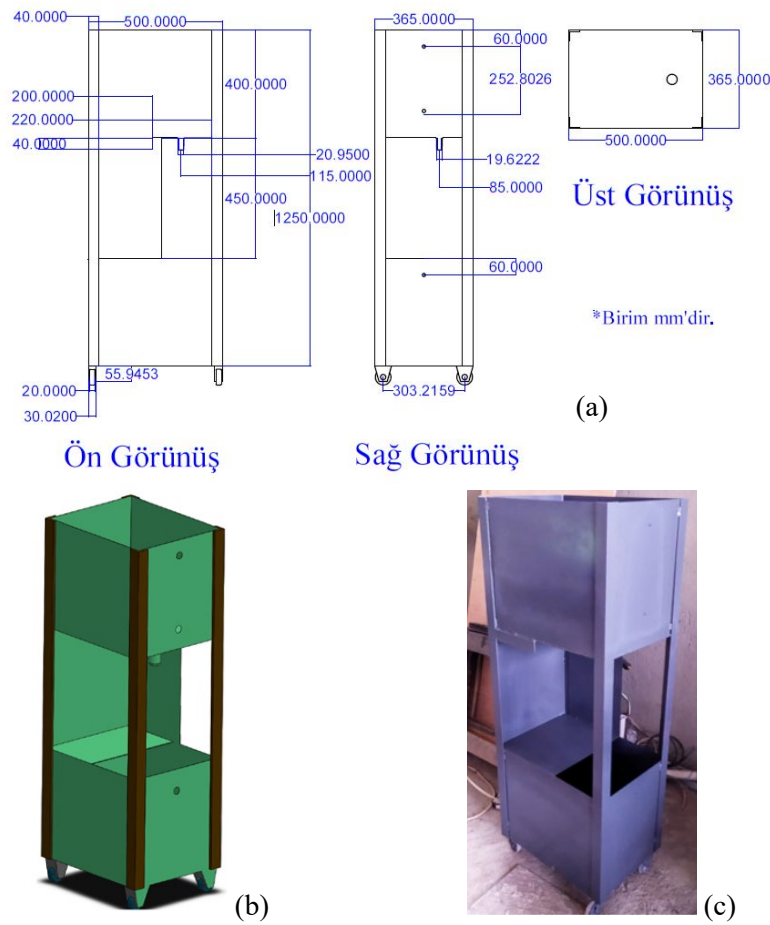


Şekil 3. a) Elektrik oransal vana görüntüsü , b) dalgıç pompa görüntüsü

2.2 Metot

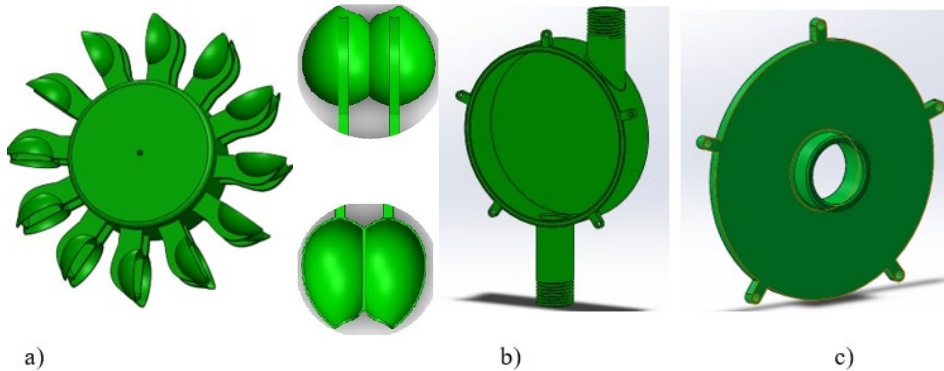
2.2.1. Mekanik Tasarım ve İmalat

Çalışmada, tüm materyalleri üzerinde barındıracak ve HES prototip santralin çalışmasını sağlayacak şekilde ana gövdenin mekanik tasarımı Solidworks programının Sheet Metal modülü kullanarak Şekil 4a'de teknik resimde gösterildiği gibi HES prototipin ana gövdesi, üstte ve altta olmak üzere suyun birikimi için iki adet su havuzundan ve iki havuz arasında yer alan elektrik panosundan oluşacak şekilde çizilmiştir. Şekil 4b'de HES prototip santralin 3B katı modelleme gösterilmiştir. Ayrıca ana gövde içerisinde oransal vana, su seviye sensörü bulunmaktadır. Her bir havuz 73 L su kapasitesine sahiptir. Şasenin rahat hareket edebilmesi için alt kısımda 4 adet rulman tekerlek mevcuttur. Şase imalatında 40x40mm ebatlarında 5 metre demir L profil ve 2 mm kalınlığında 50 kg sac levha kullanılmıştır. Bağlantı işlemi kaynak ile yapılmıştır. Boyama işlemi ile ana gövde imalatı sona ermiştir.



Şekil 4. Ana gövdenin tasarım ve imalat görüntüleri a) teknik resim b) 3B katı model c) imalat

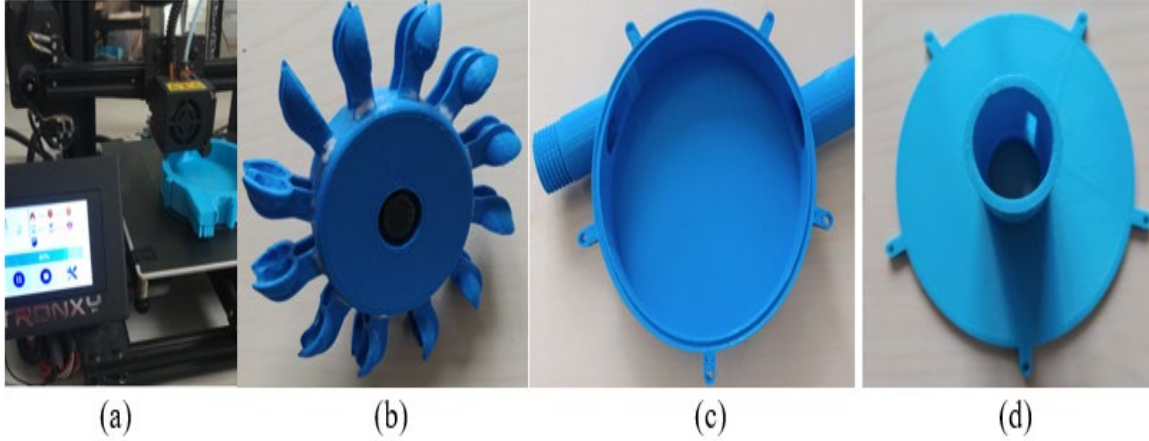
Ana gövdenin tasarım ve imalat işlemleri gerçekleştirildikten sonra bir diğer mekanik aksam olan ve elektrik enerjisi üretimi için kullanılan pelton türbin ve türbin kapakları SolidWorks programı ile ayrı ayrı çizilip montajı yapılmıştır (Şekil 5.) Şekil 5a’da gösterildiği gibi türbinin çapı 95 mm, genişliği 25mm ve çark sayısı 12 adet olacak şekilde çizilmiştir. HES prototip cihazında çarkın çapı ve dönme hızı etken parametrenin olmadığı ve daha alçak düşülerde kolayca çalışabilen pelton türbin tercih edilmiştir. Burada, pelton türbinini düşey olarak konumlandırılmıştır. Şekil 5b’de gösterilen dış kapak devir sensörü ile dinamo arasında bağlantısı yapılmıştır. Şekil 5c’de türbinin içindeki suyun dışarıya akmasını engellemek ve dinamonun sabit kalmasını sağlamaktadır.



Şekil 5: Pelton türbin ve kapalarının görüntüsü a) Pelton türbin b) Dış kapak c) İç kapak

Çalışmada, açık kaynak kodlu Tronxy XY-2 FDM marka model numaralı 3B yazıcı ile Polylactic Acid (PLA) malzemeden pelton türbin, dış ve iç kapak imal edilmiştir (Şekil 6). İmalat

parametreleri 0,2 mm katman kalınlığı, nozul sıcaklığı 235 °C, baskı hızı 40 mm/s'dir. 3B yazıcının sabit parametreleri ve teknik özellikleri Çizelge 1'de gösterilmiştir. Türbin ve türbin kapakları rulman aracılığıyla dinamoya yataklanmıştır. Türbin kutusu su sızdırma riskine karşı yüzeyi spreyci vernik ile yalıtılmıştır ayrıca iki kapak arası sıvı conta ile izole edilmiştir.



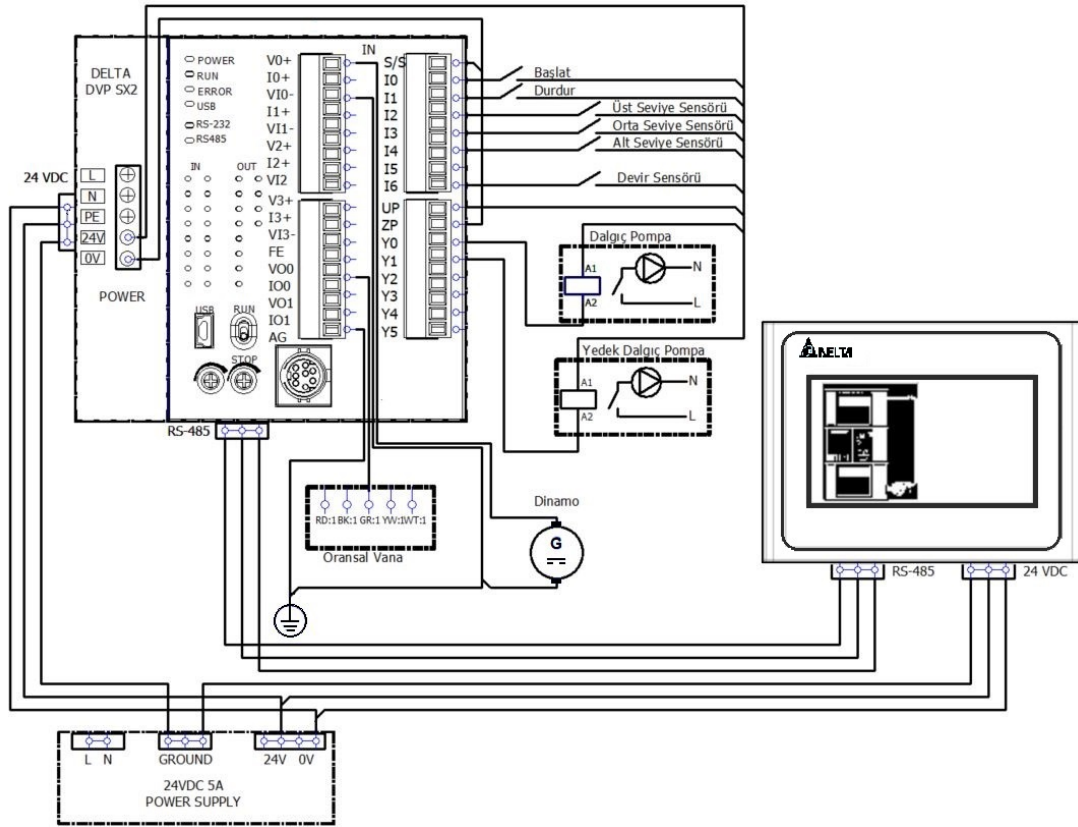
Şekil 6: Pelton türbin imalat görüntüleri a) 3B yazıcı imalat b) pelton türbin, c) dış kapak d) iç kapak

Çizelge 1. 3B yazıcının sabit parametreleri ve teknik özellikleri

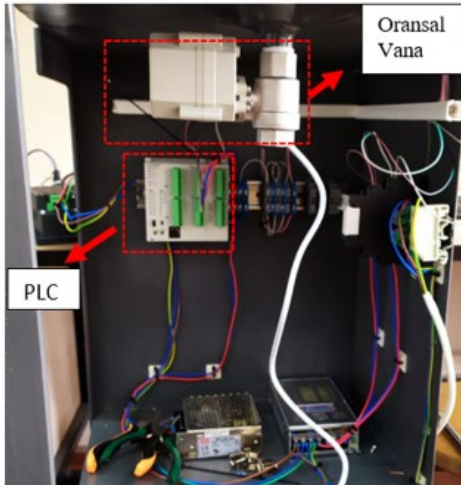
İsim	Birim	Boyutlar
İnşa Alanı	mm	255x255x260
Katman kalınlığı	mikron	20
Malzeme		PLA/ ABS/ HIPS/ WOOD/ PC/ PVC
Baskı Teknolojisi		Ergiyik Biriktirme Modelleme (EBM)
Filament çapı	mm	1.75
Nozul Çapı	mm	0.2 / 0.3 / 0.4
İmalat Boyutları	mm	478 x 455 x 520
İnşa Tabla Sıcaklığı		110 °C (max)

2.2.2. Elektrik-Elektronik Sistem Tasarımı

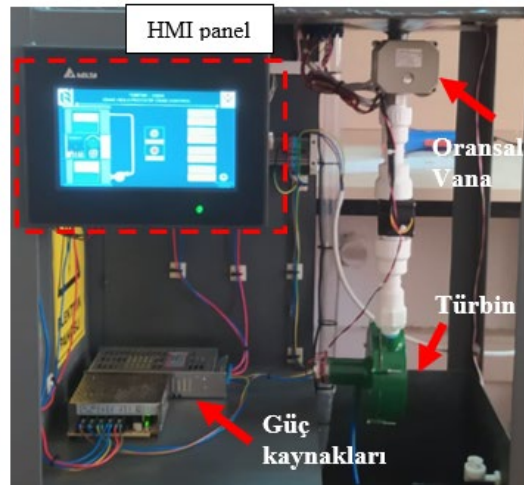
Çalışmada seviye ve devir sensörlerinden elde edilen veriler PLC üzerinden HMI operatör panel üzerinde gösterilmektedir. Şekil 7'de elektrik elektronik devre tasarım diyagramı ve şeması verilmiştir. Sistemin DC beslemesi iki adet 24V DC güç kaynağı bağlantısı ile gerçekleştirilmiştir. Su havuzundaki suyun debisini ayarlamak için PLC DVP SX2 modelindeki analog kanalı (AD0)'a oransal vana bağlanmıştır. Oransal vananın çıkışına bağlı olan hall effect sensör olarak çalışan devir sensörü akan suyun dakikada devir sayısını dijital veri olarak PLC'ye ve HMI panel aktarılmıştır. Suyun seviye bilgileri seviye sensörleri ile sistem çalıştıkça veri bilgileri alınmıştır. Sıvı seviye sensörleri alınan bilgiye göre suyun devir daimi dalğış pompa ile gerçekleştirilmiştir. Enerji üretimini sağlayan dinamo türbin kutusuna monte edilerek türbinin dönmesi ile elde edilen mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürüp 0-300mV arasında gerilim değerleri alınmıştır. Elektrik ve elektronik malzemelerin kontrolünü gerçekleştiren Delta SX2 model PLC ve Delta DOP HMI(Şekil 7a) panel sisteme monte edildikten sonra haberleşmeleri sağlanmıştır. İki ekipman arasında RS485 tip haberleşme kullanılmıştır. DOP HMI Panel(Şekil 7b) ve PLC 24V DC güç kaynağından beslenmektedir.



a)



b)



c)

Şekil 7: Elektrik-elektronik sistem görüntüsü a) diyagram b) pano devresi c) HMI devresi

2.2.3. Kontrol Yazılımın Geliştirilmesi

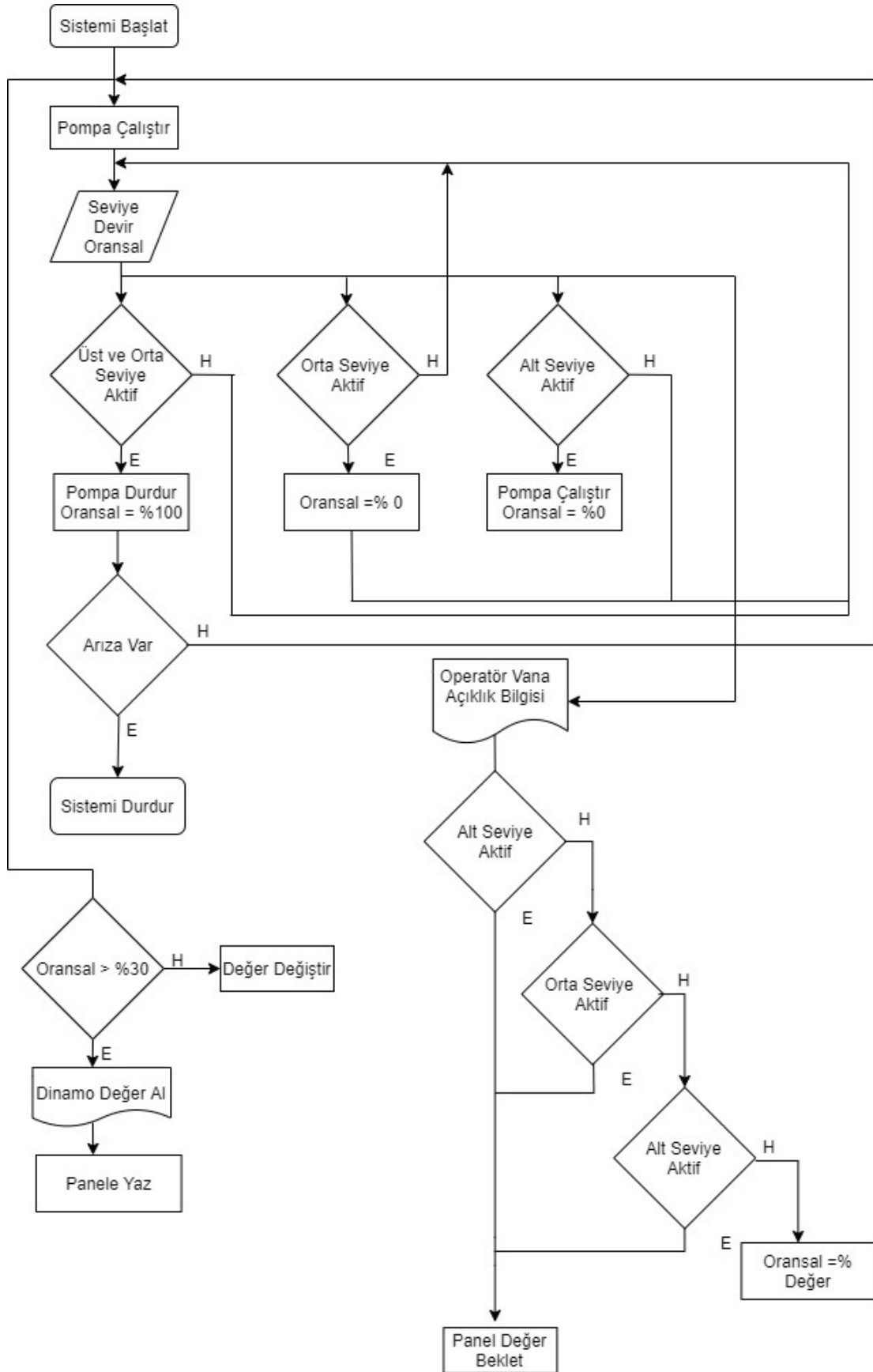
Delta DVP-SX2 PLC'nin giriş/çıkış tanımlamaları yapılmıştır. Buna göre start/stop, seviye ve devir sensörü giriş elemanları, ileri/geri yönde dalgıç pompa çıkış elemanı olarak bağlanmıştır. Ayrıca kontrol yazılımı için yardımcı kontaklar, zamanlayıcılar, analog/giriş çıkış, data bitleri kullanmıştır. PLC giriş çıkış bilgileri Çizelge 2'de detaylı biçimde gösterilmiştir.

Çizelge 2. PLC giriş/çıkış ve data adresleri

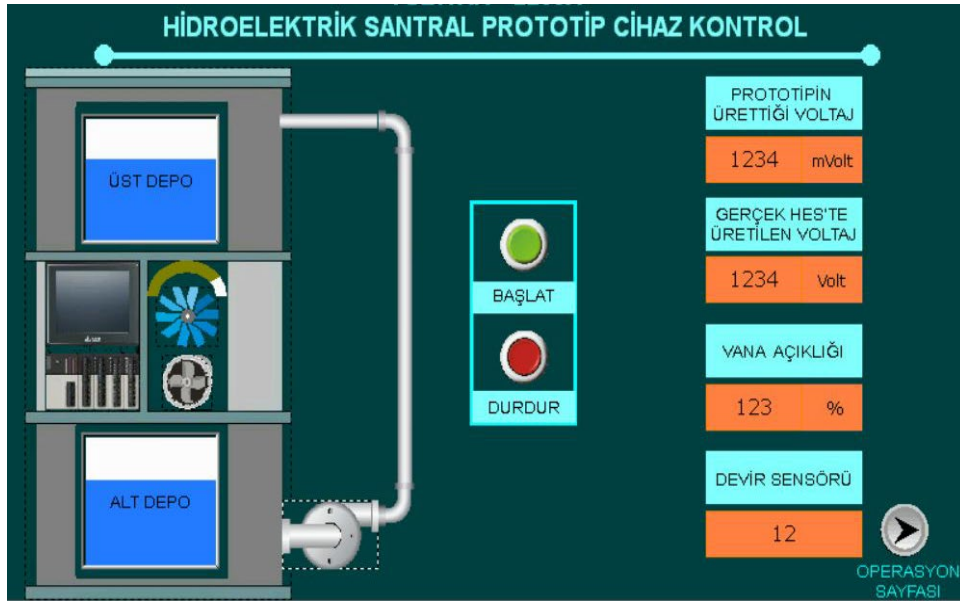
	Dijital Girişler		Dijital Çıkışlar		Yardımcı Kontaklar
X0	Start	Y0	Dalgıç Pompa ileri	M0	Sistem Mühür
X1	Stop	Y1	Dalgıç Pompa geri	M1	Üst Sensör CMP
X2	Üst Seviye Sensörü		Data	M2	Üst Sensör CMP
X3	Orta Seviye Sensörü	D20~D22	Oransal SCL_1	M3	Üst Sensör CMP
X4	Alt Seviye Sensörü	D104	Sensör Vana Veri	M4	Üst TMR SET
X6	Devir Sensörü	D102	Kullanıcı Vana Veri	M5	Kullanıcı Bilgi Alma CMP
	Analog Giriş-Çıkış	D120~D123	Alt Tank Animasyon	M6	Kullanıcı Bilgi Alma CMP
A/D0	Oransal Vana	D124~D126	Üst Tank Animasyon	M7	Kullanıcı Bilgi Alma CMP
D/A0	Dinamo	D140~D143	Oransal SCL_2	M8	Sensör Bilgi Yolla Mühürleme
	Zamanlayıcılar	D150	Devir Sensör Veri	M20	Devir Sensör CMP
T0	Sistem Başlama	D240~D243	Dinamo SCL 1	M21	Devir Sensör CMP
T1	Dolum Süresi	D244	Dinamo Değer	M22	Devir Sensör CMP
T3	Boşalma Süresi	D245	Dinamo Ekran	M25	Dinamo Analog Kanal CMP
T4	Pompa Bekleme	D340~D346	Dinamo SCL 2	M26	Dinamo Analog Kanal CMP
T5	Animasyon Süre	D500-D501	Vana Bilgi Giriş/yazma	M27	Dinamo Analog Kanal CMP

Çalışmada HES santral prototip cihaz Delta B07S411HMI üzerindeki SCADA sayfasından kontrol edilebilmektedir. HES Prototip cihazının SCADA tasarımı ana ekran, operasyon sayfası ve sinyal takip sayfası olmak üzere üç ekrandan oluşturulmuştur. Sistem çalışmaya başladığında pompa da çalışmaya başlamaktadır. Sistem üzerindeki algılayıcılardan alınan seviye ve devir bilgisi PLC'ye gönderilmiştir. Pompa; üst,orta ve alt seviye sensörlerinden alınan bilgiye göre çalışmaktadır. Gerçekleştirilen prototip sistem SCADA sayfasından çalıştırılabilmektedir. Sistem çalışmaya başladığında pompa çalışmaya başlar. Üst ve orta seviye sensörlerinin aktif olması durumunda pompa durur ve oransal vana tamamen açılır. Orta seviye sensörünün aktif olması durumunda türbine yetersiz su gitmemesini engellemek için oransal vana tamamen kapanır. Alt seviye sensörünün aktif olması durumunda alt havuzda su taşmasını engellemek için oransal vana tamamen kapanır. Sıvı seviye sensörlerinden alınan veriler PLC'ye gönderilir. Devir sensörü, oransal vananın açıklık oranına göre üst havuzdan akan suyun devri ölçer ve ölçülen devir değeri SCADA ekranı üzerinde gösterilir. Bu işlemler SCADA ekranından takip edilebilmektedir. Çalışmada HES prototipin kontrol yazılım için ilk aşama programa ait akış diyagramının çizilmesidir. Sisteme ait akış diyagramı Şekil 8'de gösterilmiştir.

HES prototip santral çalıştırıldığında Şekil 9'da gösterilen SCADA ana ekran gelmektedir. Ana ekranda, oransal vana, devir sensörü, pelton türbin, pompa çalışma durumu ve su depoları animasyon şeklinde gösterilmiştir. Ana ekranda "Prototipin Ürettiği Enerji", "Dinar HES-II'de Üretilen Enerji", "Vana Açıklığı" ve "Devir Sensörü" verileri anlık olarak takip edilebilmektedir. Ayrıca HES prototip cihazın çalışma durumu animasyon şeklinde görülmektedir.

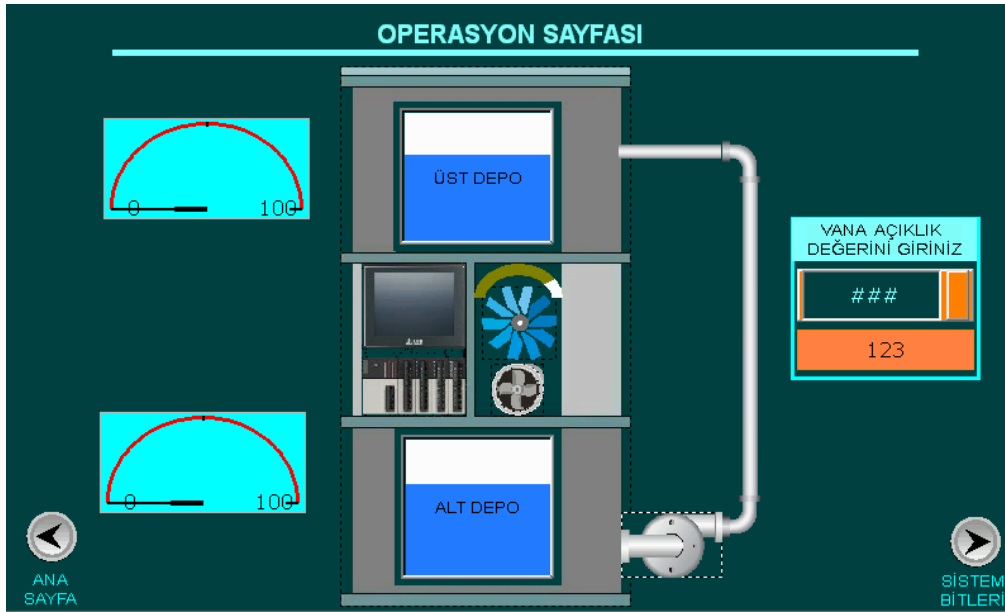


Şekil 8. HES prototipin kontrol yazılımının akış diyagramı



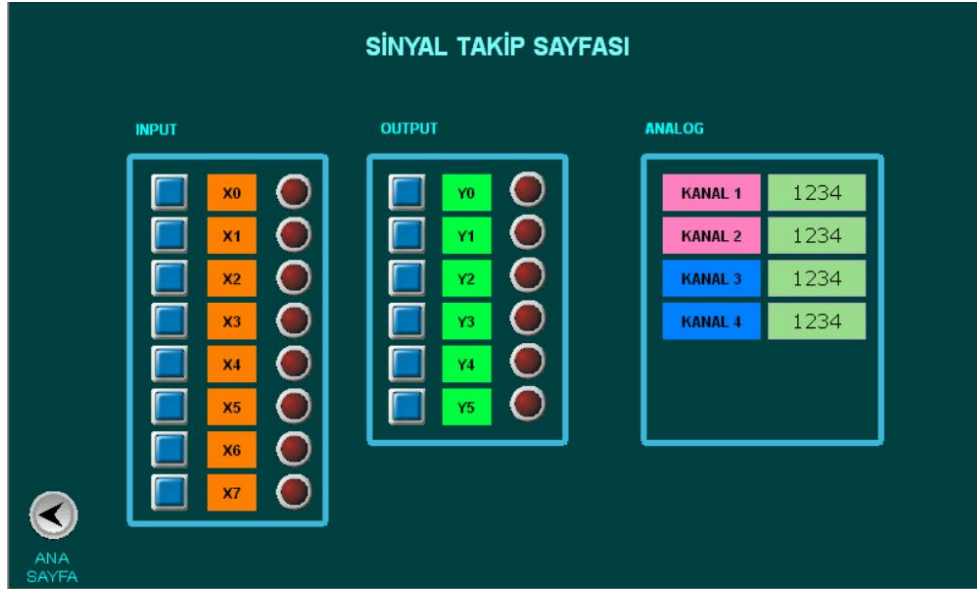
Şekil 9. HES prototip santralin SCADA ana ekranı

Şekil 10'da operasyon sayfasında kullanıcının oransal vana açıklık değeri veri girişi yapabildiği keypad bulunmaktadır. Girilen değer PLC'ye aktarılmakta ve oransal vana istenilen açıda çalışmaktadır. Böylece HES prototip santralin üst ve alt depodaki su miktarı, çalışma durumu gözlemlenebilmektedir.



Şekil 10. SCADA operasyon sayfası

Şekil 11'de gösterildiği gibi, sinyal takip sayfası programcıya ait bir sayfa olup sistemde kullanılan tüm giriş-çıkış bitleri ve dataları takip edebileceği sayfadır.



Şekil 11. Sinyal takip sayfası

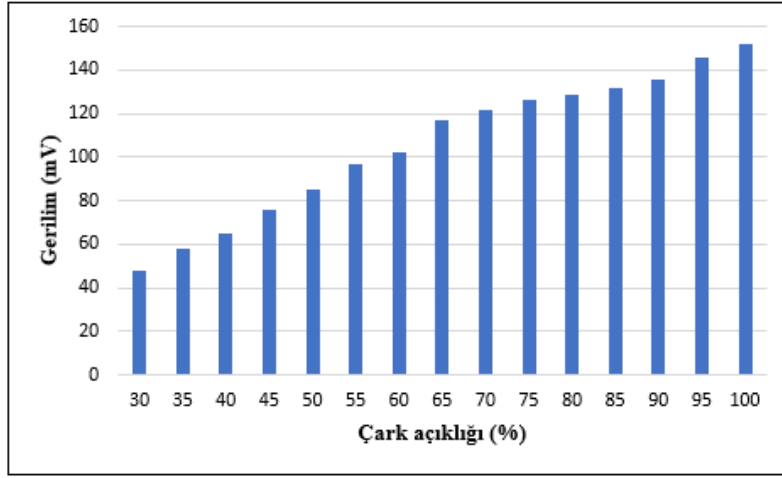
3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmada, pelton türbin tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir. HES santral prototip cihazında sistem çalıştırıldığında çark açıklığının yüzde değerine göre pelton türbinin saniyedeki devir sayısı sensör ile ölçülmektedir. Buna bağlı olarak türbin dönüşünde dinamoda üretilen voltaj değeri mV olarak alınmaktadır. Çizelge 3’de suyun çark açıklığına bağlı olarak devir sensörü ve üretilen voltaj değerleri verilmiştir. Ayrıca Dinar-II Hes santralin aynı çark açıklığında üretilen gerçek Çizelge 3’de gerilim değerleri de gösterilmiştir.

Çizelge 3. HES prototip santralin çark açıklığına göre üretilen gerilim değerleri

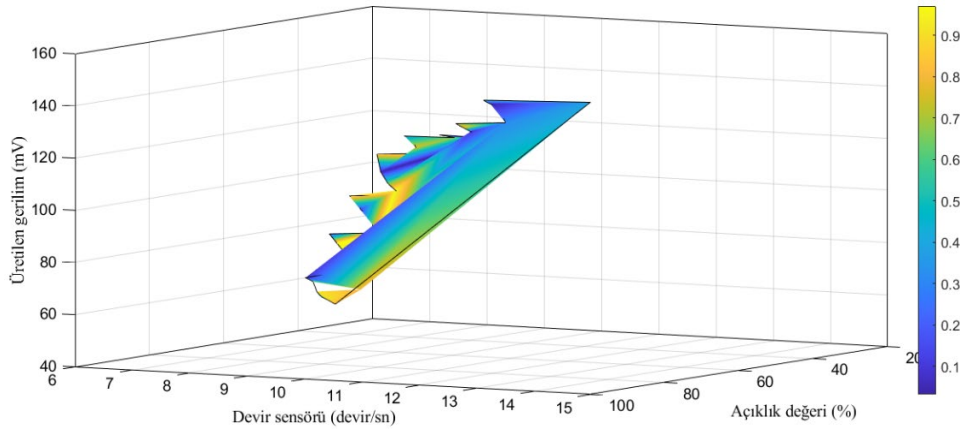
Çark Açıklığı	Dinar HES-II’de Üretilen Voltaj (V)	Üretilen Voltaj (mV)	Devir Sensörü (devir/sn)
30	191	48	6
35	231	58	7
40	259	65	7
45	303	76	8
50	338	85	9
55	386	97	9
60	406	102	9
65	466	117	10
70	486	122	10
75	502	126	11
80	514	129	11
85	526	132	12
90	542	136	12
95	582	146	13
100	606	152	15

HES prototipin çalışmasında kullanıcı tarafından çark açıklığının oransal vana ayarlanarak suyun debisi değiştirilmektedir. Çalışmada, HES prototipin açıklık değerinin yüzde(%) değişimine bağlı olarak dinamoda üretilen gerilim değerleri Şekil 12’de gösterilmiştir.



Şekil 12. HES prototip santralin çark açıklığına bağlı dinamodonun ürettiği gerilim değerleri

Şekil 13’de devir sensörü ve çark açıklığına bağlı olarak üretilen gerilim değerleri 3 Boyutlu yüzey grafiği ile gösterilmiştir. Burada çark açıklığına bağlı olarak devir sensörü ve üretilen gerilim artmıştır.



Şekil 13. HES prototip santralin devir sensörü, çark açıklığına bağlı olarak üretilen gerilim değerleri

Literatür incelendiğinde, Bayındır vd. [19] çalışmasında, basınç, seviye ve sıcaklık sensörlerinden elde edilen verileri anlık izlenmesi, sistemin görsel takibi edilebilmesini göstermiştir. Altınkaya vd. [20], nehir tipi HES santralin prototipi ile su akış oranı, devir sayısı ve su seviyesinin ölçümü ve kontrolünü ile eğitim materyali olarak kullanımını göstermiştir. Çalışmada, eğitim aracı ve materyali tasarımı ile gerçekleştirilen PLC-SCADA entegrasyonlu HES prototip cihazının üzerinde üretilen elektrik enerjisi, türbin çark açıklık yüzde değerleri ve suyun yüksekliğini gösteren bulguların literatürdeki çalışmalara benzemektedir.

4. Sonuçlar

HES prototip santralin tasarımı, imalatı ve 3B Yazıcı ile türbin üretimi ile PLC ve SCADA entegrasyonlu kontrol yazılımı için yapılan bu çalışma ile aşağıdaki genel sonuçlar elde edilmiştir:

- HES Prototip ile enerji üretimi gerçekleştirilmesi ile enerji üretim faaliyetini SCADA sistem ile izleyip kontrolünü yapılabilmektedir. Böylece ortaöğretim ve yükseköğretim öğrencilerine yönelik eğitim amaçlı kullanılabileceği gösterilmiştir.
- Gerçekleştirilen deneysel çalışma ile sistemin güvenilir, hassas ve daha az maliyetli olduğunu göstermiştir.
- Su akış oranı ve devir sayısındaki değişimleri, üretilen gerilim SCADA ekranı üzerinde başarılı bir biçimde gösterilmiştir. Böylece öğrencilerin santrale gitmeden, elektrik enerjisinin üretimindeki süreçleri kapsayan türbin ve jeneratör bölümü uygulamalı olarak dersleri işleyebileceklerdir.
- Gerçekleştirilen HES prototip santralde 3B baskı teknolojisinin kullanımı ile birlikte öğrencilerde 3B düşünebilme kabiliyeti, analitik düşünme becerilerin geliştirilmesi ve proje tabanlı öğrenim kazanımları elde edilmiştir.
- Çalışmada kullanılan yöntemle üretilen HES prototip cihazın toplam maliyeti 4000 TL olup, literatürdeki benzer yöntemlerle üretilen prototip maliyetinden daha az bulunmuştur.
- Bundan sonraki çalışmalarda gerçekleştirilen HES prototip santralin web üzerinden kontrol edilmesi ile COVID-19 gibi hastalıkların sebep olduğu pandemi sürecinde kontrol yazılımın eğitim (uzaktan eğitim) ve sanayi uygulamalarında kullanılabilirliğini artıracaktır.

Teşekkür

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde veri kullanmamıza izin veren Özce Mühendislik Ltd. Şti şirketine ve projeyi 1919B012000418 numaralı 2209-A- Üniversite Öğrencileri Araştırma Projelerini Destekleme Programı kapsamında destekleyen TÜBİTAK BİDEB birimine teşekkürü bir borç biliriz.

Etik Standartların Beyanı

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasalözel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

Kaynaklar

- [1] Ulu TM, Adıyaman ilinin yenilenebilir enerji potansiyelinin belirlenmesi üzerine bir değerlendirme, Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2021; 33(1): 263-274.
- [2] Adıyaman Ç, “Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Politikaları”, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2012).
- [3] Koç E, Kaya K, Enerji kaynakları-yenilenebilir enerji durumu. Mühendis ve Makine 2015; 56(668): 36-47.
- [4] Karaaslan A, Aydın S, Yenilenebilir enerji kaynaklarının çok kriterli karar verme teknikleri ile değerlendirilmesi: Türkiye örneği. Atatürk Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Dergisi 2020; 34:4 1351-1375.
- [5] Unsur C, Kale HESin enerji üretimine katkısı Güneysu/Rize. Türk Hidrolik Dergisi 2021; 5(1): 18-24.
- [6] Karagöl ET, Kavaz İ, “Kaya gazı devrimi: küresel enerji piyasalarındaki yansımaları ve Türkiye’deki geleceği”. In Icpess International Congress On Politic, Economic And Social Studies. Sarajevo,13-14, 2017.
- [7] Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ), “Hidroelektrik Enerji”, Ankara, 2020.
- [8] Özdemir MS, Dalcalı A, Ocak C. “Akarsu tipi hidroelektrik santraller ve bu santrallerde kullanılan türbin-generatörler”. Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi 2020; 2(2): 69-75.
- [9] Birok E, “Yüksek Mertebeden Teorik Bir Sistemin S7-300/400 Tipi Plc İçin Sayısal Benzetim İle Dijital PID Kontrolör Tasarımı”, Yüksek lisans tezi, Kocaeli üniversitesi, Fen bilimleri enstitüsü, 2013.

- [10] Güner E, Nadar A, Tör OB, Küçük hidrolik santralleri için geliştirilen bir “SCADA” sistemi: HESKON. Elektrik Mühendisleri Odası 2005; 1:1-6.
- [11] Mahouti P, 3 boyutlu yazıcı teknolojisi ile bir mikroşerit yama antenin maliyet etkin üretimi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi 2019; 7(3): 473-479.
- [12] Hopkinson N, Hague R, Dickens P, Introduction to rapid manufacturing, rapid manufacturing: an industrial revolution for the digital age (First edition). Hoboken: John Wiley & Sons 1-2, 2006.
- [13] Levy GN, Schindel R, Kruth JP. Rapid manufacturing and rapid tooling with layer manufacturing (lm) technologies. State of the art and future perspectives, Cirp Annals Manufacturing Technology, 2003; 52(2): 589-609.
- [14] Kruth JP, Leu MC, Nakagawa T. Progress in additive manufacturing and rapid prototyping, Cirp Annals - Manufacturing Technology, 1998; 47(2):525-540.
- [15] Santos EC, Shiomi M, Osakada K, Laoui T, Rapid manufacturing of metal components by laser forming. International Journal Of Machine Tools And Manufacture, 2006; 46(12): 1459-1468.
- [16] İnan S.A., Özsoy K., Delta DVP-PLC serisi programlama ve otomasyon, Nobel Akademi Yayıncılık, Ankara, 2020.
- [17] DeltaTurkey, <http://destek.delta-turkey.com/viewtopic.php?f=54&t=1585.html> (Erişim Tarihi: 30.03.2021)
- [18] Gölcü M, Kanat sayısının dalgıç pompa performansına etkisi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2002; 6(2): 127-133.
- [19] Bayindir R, Kaplan O, Bayyigit C, Sarikaya Y, Hallaçlıoğlu M. PLC ve SCADA kullanılarak bir endüstriyel sistemin otomasyonu. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, 2011; 27(1): 107-115.
- [20] Altinkaya H, Ersayan A, Yılmaz M, “Kanal Tipi Hidroelektrik Santral’in PLC-SCADA Uygulaması ve Prototipinin Yapılması” In 4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science (ISITES2016), Antalya,760, 2016.

FARKLI TİP VE ORANLARDA KALKER TOZU KULLANILAN ÇİMENTO HAMURLARINDA SÜPERAKIŞKANLAŞTIRICI DOZAJININ KIVAMA VE PRİZ SÜRELERİNE ETKİLERİ

Sadık BİLEN^{11*}, Murat PALA²

¹Adiyaman Üniversitesi, TBMYO, İnşaat Teknolojisi Bölümü, Adiyaman, 02040, Türkiye

²Adiyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adiyaman, 02040, Türkiye

Geliş tarihi: 10.06.2021 Kabul tarihi: 28.06.2021

ÖZET

Çimento, dünyanın en yaygın kullanılan yapı malzemelerinden biridir. Çimentoya, uygun kıvamı sağlayacak kadar su eklenmesiyle çimento hamuru oluşur. Ancak Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB) ve Kendiliğinden Yayılan Harç (KYH) gibi yapı malzemelerinin imalatı aşamasında çimento hamuruna, farklı toz malzemeler ve kimyasal katkıları da eklenmektedir. Yüksek miktarda çimento, toz malzeme, kimyasal katkı kullanımı bu tür betonların ve harçların üretim maliyetlerini artırmaktadır. Doğada atık ve toz halde bulunan malzemelerin çimento hamurunun içerisinde değerlendirilmesi ile özel kullanım amacı sunan bu tür beton ve harçların üretim maliyetlerinin azalacağı düşünülmektedir. Özellikle, taş ocaklarından elde edilen kalkerlerin, üretimi aşamasında, yüksek miktarlarda toz malzeme atık hale gelmektedir. Ancak çimento dozajını azaltmak amacıyla kullanılacak kalker tozlarının, kimyasal katkılarıyla gösterecekleri reaksiyonlar önem taşımaktadır. Bu çalışmada, çimento ile birlikte farklı tip ve oranlarda kalker tozları kullanılarak, süperakışkanlaştırıcı dozajının çimento hamurlarının kıvamına ve priz sürelerine etkileri incelenmiştir. Kıvam için gerekli su miktarı ve priz süreleri, süperakışkanlaştırıcı dozajına ve kullanılan kalker tozunun tipine bağlı olarak değişmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çimento hamuru, kalker tozu, kendiliğinden yerleşen beton, priz süresi, kıvam.

THE EFFECTS OF SUPERPLASTICIZER DOSAGE ON CONSISTENCY AND SETTING TIMES IN CEMENT PASTES USING DIFFERENT TYPES AND PROPORTIONS OF LIMESTONE POWDER

ABSTRACT

Cement is one of the most widely used building materials in the world. Cement paste is formed by adding enough water to provide the appropriate consistency. However, different powder materials and chemical additives are also added to the cement paste, during the production of construction materials such as self-compact concrete (SCC) and self-leveling mortar (SLM). The use of high amount of cement, powder materials and chemical additives increases the production costs of such concretes and mortars. Its thought that the production costs of this type concrete and mortar, which offer a special purpose, will decrease by evaluating the materials in cement paste that are in the form of waste and powder in nature. Particularly, high amount of powder material obtained, during the production phase of limestone obtained from stone quarries. However, the reactions of limestone powders to be used reduce cement dosage with chemical additives are important. In this study, the effects of superplasticizer dosage on the consistency and setting times on the cement pastes will be examined by using different types and proportions of limestone powders together with cement. The amount of water required for consistency and setting times varied, depending on the superplasticizer dosage and the type of limestone powder used.

Keywords: cement paste, limestone powder, self-compact concrete, setting time, consistency.

¹ e-posta¹: sbilen@adiyaman.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9430-8932> (Sorumlu Yazar)

e-posta²: pala@adiyaman.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3684-9976>

1. Giriş

Çimento yeryüzünde üretimi en çok olan yapı malzemelerindendir [1]. Üretiminde yüksek miktarda enerjiye ihtiyaç olmasına rağmen, çimento üretiminde kullanılacak hammaddelerin yerel olarak temin edilebilir olması, çimentonun daha düşük maliyetli olmasını sağlamaktadır. Çimento üretimi, dünyadaki CO₂ salınımının %6-8'ine sebep olmaktadır [2]. Beton ve harç, içeriğinde çimento bulunan, yapı malzemelerindendir. Su ve çimentodan oluşan çimento hamurlarına, kum eklenmesiyle harç, kum ve agrega eklenmesiyle de beton oluşmaktadır. İhtiyaca göre farklı mineral yapıdaki malzemeler ve kimyasallar eklenerek hem harçlara hem de betonlara farklı özellikler kazandırılabilir. İçeriğinde farklı mineraller ve kimyasal katkı malzemeleri bulunan, en modern yapı malzemeleri türleri arasında, ilk üretimi Japonya'da yapılan ve 1980'li yıllardan itibaren kullanımına başlanılan, Kendiliğinden Yerleşen Betonlar (KYB) ve Kendiliğinden Yayılan Harçlar (KYH) gösterilebilir [3, 4].

Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB), kendi ağırlığı ile vibrasyon, şişleme vb. hiçbir dış etkiye maruz kalmadan kalıba kendiliğinden yerleşerek, boşlukları doldurma ve segregasyona uğramadan çelik donatı elemanların arasından geçme özelliğine sahip özel bir betondur. Yerleştirmedeki işçilik hatalarını minimum düzeye indirmesi ile zaman ve maliyet kayıplarını büyük ölçüde önlemesi, daha hızlı inşaat yapım süresine olanak vermesi, diğer betonlara göre daha az geçirimsiz olması, güçlendirme işlerinde üstün performans göstermesi, pürüzsüz bir yüzey elde edilmesine imkan vermesi, ulaşılması zor yerlere beton dökülmesine olanak sağlaması, gürültü kirliliğine engel olması ile önemli avantajlar sağlamaktadır [5, 6, 7].

Kendiliğinden yayılan harçlar (KYH) ise yüzeye iyi yapışmaları, yüksek mekanik ve aşınma direncine sahip olmaları, mükemmel yakın pürüzsüz yüzeyler sunması, büyük akışkanlığı sayesinde geniş yüzeylerin tesviye edilmesine olanak sunması, yüksek hızda üretim olanağı sağlaması, uygulaması esnasında az miktarda işçiliğe ve araç ekipmana ihtiyaç duyması nedeniyle ekonomik olarak avantajlar sunan bir harç türüdür [8, 9].

KYB tasarımının temel ilkeleri azaltılmış kaba agrega içeriği, arttırılmış hamur hacmi, düşük su/toz malzeme miktarı, arttırılmış süperakışkanlaştırıcı miktarıdır [10]. Bu nedenle KYB ve KYH üretiminde yüksek miktarda toz malzemeye ve süperakışkanlaştırıcı kimyasal maddelere ihtiyaç bulunmaktadır [11]. KYB'de bulunan kaba agrega miktarı geleneksel betonlara göre daha az miktardadır. Aynı şekilde KYH'deki kum miktarı da geleneksel harçlara göre daha düşük miktardadır. Her iki malzeme de kullanılan toz malzeme miktarı ve süperakışkanlaştırıcı miktarı yüksek düzeydedir. Bu yüzden, KYB ve KYH üretimleri geleneksel beton üretimine ve geleneksel harç üretimine göre daha pahalıdır. Bu da büyük avantajlarına rağmen, KYB ve KYH üretimlerini olumsuz etkilemektedir. Toz malzeme ve süperakışkanlaştırıcı maliyetlerinin düşüşüne sebep olacak araştırmalar KYB ve KYH üretim miktarlarına olumlu yansıtacağından, her iki ürünün de daha yaygın bir kullanım alanı bulmasına sebep olacaktır. Bu nedenle, beton içeriğindeki portland çimento miktarının azaltılmasını ve istenen taze özelliği sağlamak amacıyla çeşitli mineral malzemelerin kullanılmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır [12, 13,14,15,16].

KYB ve KYH üretiminde en çok kullanılan toz malzemelerinden bazıları, granüle yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı ve kireçtaşı tozudur [17]. Özellikle kalker tozu doğada yaygın olarak bulunan, ekonomik olarak temini kolay malzemelerdendir [18]. KYB ve KYH üretiminde kullanılan süperakışkanlaştırıcı ile toz malzeme arasındaki uyum büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada bölge şehirlerinde konut yapımında yoğun bir şekilde kullanılan kalkerlerden elde edilen ve atık halde bulunan kalker tozları kullanılmıştır. Kullanılan kalker tozu ile çimento ve süperakışkanlaştırıcı uyumunun incelenmesi bakımından çimento hamurlarının kıvam ve priz süreleri araştırılmıştır.

2. Deneysel Çalışma

2.1 Çimento

Harçların karışımında ASTM C-1157 [19] Standartlarına uygun olarak üretimi gerçekleştirilmiş olan ve Adıyaman Sanko Çimento Fabrikasından temin edilen CEM 1 42.5 R tipi çimento

kullanılmıştır. Çimentonun özgül ağırlığı ve kimyasal analizleri Çizelge 1’de, kimyasal analizi ise Çizelge 2’de verilmiştir.

2.2. Kalker Tozları

Bu çalışmada, Şanlıurfa ilinde bulunan kalker ocaklarından temin edilen, kimyasal analizi ve özgül ağırlıkları birbirinden farklı, 2 kalker tozu kullanılmıştır. Bu tozlar 4 mikronluk elekten geçirilmiştir ve elek altında kalan tozlar kullanılmıştır. Özgül ağırlığı daha düşük bulunan kalker tozu, hafif (H) olarak, ikincisi ise normal (N) kalker tozu olarak adlandırılacaktır. Kalker tozlarının kimyasal analizi Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesinde yapılmıştır. Kalker taşı tozlarının özgül ağırlıkları Çizelge 1’de kimyasal analizi Çizelge 2’de verilmiştir.

2.3 Süperakışkanlaştırıcı

Çalışmada süperakışkanlaştırıcı (SA) olarak, Mersin Fosroc İdea Yapı Kimyasalları firmasından temin edilen, Fosroc Auramix 223 kullanılmıştır. Ürün polikarboksilat esaslı olup, katkı malzemesinin %0,8’i kadar kullanılması durumunda, %12 civarında su azaltıcı özelliğe sahiptir. Ürünün, pH değeri 4.0-6.0 aralığında, alkali içeriği ise %5’in altındadır ve TS EN 934-2 [20] standartlarına göre üretimi gerçekleştirilmiştir. Ürünün özgül ağırlığı Çizelge 1’de verilmiştir.

2.4 Karışım Oranları:

Süperakışkanlaştırıcı kimyasal katkı malzemesinin kullanılmayacağı, kıvam ve priz sürelerinin tayini deneylerinde toplam 7 adet asıl, 7 adet şahit olmak üzere toplamda 14 numune hazırlanmıştır. Hazırlanan 7 deney numunesinden, ilkinde toz malzemenin %100’ü CEM I 42,5 R tipi çimentodan oluşmaktadır. Kullanılan çimento miktarının sırasıyla %5, %10, %20 kadarının düşük özgül ağırlıktaki kalker tozu ile (H) ile ikame edildiği 3 numune ve çimentonun yine sırasıyla aynı oranlarda, normal özgül ağırlıktaki kalker tozları (N) ile ikame edildiği 3 numune olmak üzere toplam 7 farklı numune hazırlanmıştır. Bu hazırlanan numuneler hem kıvam hem priz süresi deneylerine tabi tutulacaklardır.

Süperakışkanlaştırıcı kimyasal katkı ile hazırlanan numuneler ise 21 adet asıl 21 adet şahit olmak üzere toplam 42 adettir. SA miktarı, üretici firmanın önermiş olduğu en alt ve en üst sınırları arasında belirlediği oranlarda kullanılmıştır. Bu nedenle toz malzeme miktarının, %0,5, %1 ve %1,5 oranlarında SA kullanılmıştır. Yukarıda hazırlanan 7 farklı numune için 3 farklı oranda SA kullanıldığından toplamda 21 adet asıl ve 21 adet şahit olmak üzere 42 adet numune hazırlanmıştır. İsimlendirme de sonunda SA olan numuneler süperakışkanlaştırıcı kullanılan numunelerdir.

Çizelge 1. Malzemelerin Özgül Ağırlıkları

	Çimento (C)	Kalker Tozu 1 (H)	Kalker Tozu 2 (N)	Süperakışkanlaştırıcı (SA)
Özgül ağırlık(gr/cm ³)	3,10	2,25	2,54	1,07

Çizelge 2. Karışımlarda Kullanılan Malzemelerin Kimyasal Analizleri

	C	H	N
CaO	62,83	74,40	73,61
SiO ₂	19,29	0,98	0,11
SO ₃	2,58	0,28	0,02

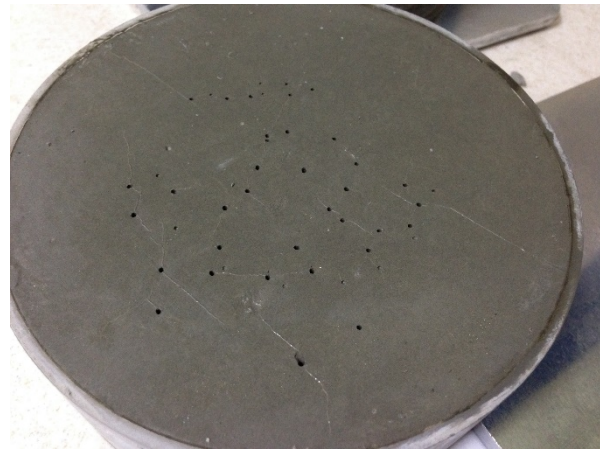
Fe2O3	4,25	0,21	0,10
MgO	3,42	0,20	0,11
Al2O3	3,88	0,15	0,05
P2O5	-	0,15	0,18
SrO	-	0,10	0,04
K2O	0,34	0,08	-
TiO2	-	-	0,01

Çizelge 2- Devamı

2.5 Karıştırma, numune hazırlama ve test etme

Bütün malzemelerin hazırlanması ve deneylerin yapılması ASTM C191 [21] standartlarına göre, Adıyaman Üniversitesi TBMYO İnşaat Teknolojisi Laboratuvarlarında yapılmıştır. İlk olarak süperakışkanlaştırıcı katılmayan 7 tip numunenin, kıvam ve priz süreleri tayini deneyleri yapılmıştır. Sonrasında ise süperakışkanlaştırıcı eklenerek elde edilen 21 tip numunenin, priz süreleri deneyleri yapılmıştır. Deneylerin yapılmasında 0.1 gr hassasiyetinde hassas terazi, vicat alet seti, kronometre ve hobart marka mikser kullanılmıştır.

Toz malzeme olarak saf çimentonun kullanıldığı deney numunelerinde, deneyde kullanılan malzeme miktarları Çizelge 3'te verilmiştir. Deney aşamasına mikser kabına su eklendikten sonra suyun içerisine 5-10 sn. içerisinde belirtilen miktarda çimento eklendi. Bu andan itibaren mikser düşük hızda 90 sn. çalıştırılmıştır. 90 sn. sonrasında, mikser 15 sn. durdurularak mikser kabının içine yapışan çimento hamuru spatula yardımıyla toplanmıştır. Çimento kalıntıları temizlendikten sonra mikser 90 sn. yüksek hızda çalıştırılmıştır. Mikser kabından alınan çimento hamuru hazırlanan vicat aletinin konik kabına spatula ile yerleştirilmiştir. 80mm. alt çapa, 70mm. üst çapa sahip ve 40 mm. yüksekliğindeki bu konik kaba vicat sondasının 30 sn. içerisinde 10 mm. (+2mm.) saplanması sağlayan su miktarı tespit edilerek kaydedilmiştir. Kalker tozunun kullanıldığı karışımlarda anlatılanlardan farklı olarak, mikser kabına ilk olarak tespit edilen miktarlarda kalker tozu ve çimento karışımı eklenmiştir ve mikser 30 sn. süreyle çalıştırılmıştır. Böylece karışımın daha homojen hale getirilmesi sağlanmıştır. Su ve süperakışkanlaştırıcı eklenmesi ve mikserin çalıştırılma süreleri ve hızları aynıdır. Belirtilen miktarda deney numuneler hazırlandıktan sonra priz süreleri tayini deneyi yapılmıştır. Vicat aleti yardımıyla tespit edilen priz başlangıç ve bitiş süreleri tayin edilmiştir.



Şekil 1. SA Kullanılan Numunelerde Priz Süresi Tayini ve Farklı Noktalardan Ölçümler

Numunelerin isimlendirmesi yapılırken ilk harf çimentoyu, ardından gelen rakamlar kullanılan kalker tozunun ağırlık olarak toplam toz madde içerisindeki yüzdesini, sonraki gelen harf kullanılan kalker tozu tipini sonrasında gelen rakamlar bindelik olarak süperakışkanlaştırıcı miktarını, sonrasında gelecek olan harfler ise süperakışkanlaştırıcıyı tanımlamamaktadır. Örneğin, C20N15SA çimento ağırlığının %20'si kadarının N tipi kalker tozu ile ikame edildiği ve çimento ağırlığının %1,5'i kadar süperakışkanlaştırıcı kullanıldığını tanımlamaktadır. Sonunda SA olmayan isimlendirmelerde süperakışkanlaştırıcı kullanılmamıştır. Örneğin, C10H çimentonun yüzde 10'u kadar H tipi kalker tozunun kullanıldığı deney numunesini simgelemektedir.

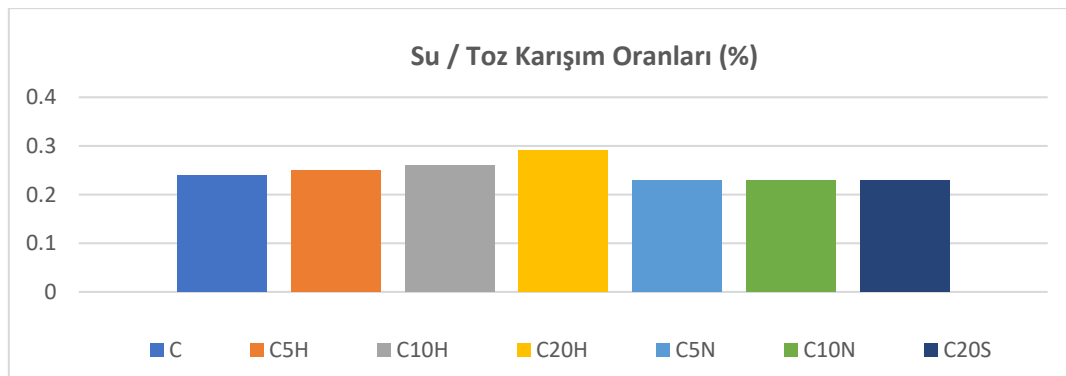
3. Bulgular

Süperakışkanlaştırıcının kullanılmadığı numunelerde, kıvam ve priz sürelerinin tespit edilmesi amacıyla 7 asıl, 7 şahit olmak üzere toplam 14 adet deney yapılmıştır. Deneylerde kullanılan malzemelerin miktarları, deney sonuçlarında bulunan priz başlangıç ve priz bitiş süreleri, deney sonuçlarında elde edilen en uygun kıvamı sağlayan vicat sondası çökme değerleri ve bunu sağlayan su miktarları Çizelge 3'te verilmiştir. Bu kıvamlara bağlı olarak yapılan priz süresi tespiti deneylerinden elde edilen priz başlangıç ve priz bitiş süreleri arasındaki farklar da yine Çizelge 3'te görülmektedir.

Çizelge 3. SA Kullanılmayan Karışımlarda Kullanılan Malzeme Miktarları, Kıvam ve Priz Süreleri

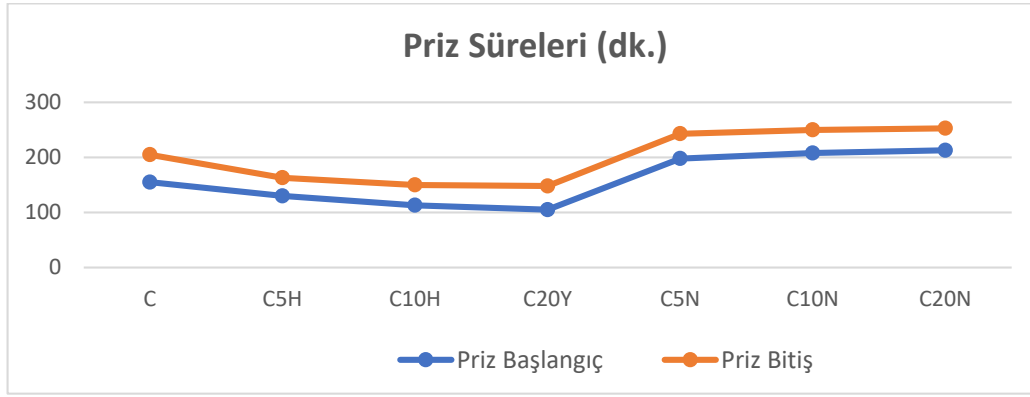
NUMUNE	KT (gr)	C (gr)	C+KT (gr)	Su (gr)	Su/(C+KT)	Çökme (mm)	Priz Başl.(dk)	Priz Bitiş(dk)	Fark (dk)
C	0	650	650	156	0,24	12	155	205	50
C5H	32,5	617,5	650	163	0,25	9	130	163	33
C10H	65	585	650	169	0,26	11	113	150	37
C20H	130	520	650	189	0,29	9	105	148	43
C5N	32,5	617,5	650	150	0,23	8	198	243	45
C10N	65	585	650	150	0,23	9	208	250	42
C20N	130	520	650	150	0,23	10	213	253	40

Su/toz karışım oranları, SA'nın kullanılmadığı numunelerde 0,24 iken, hafif özgül ağırlıktaki kalker tozunun kullanıldığı karışımlarda, karışımdaki kalker tozu miktarına bağlı olarak değişmiştir. Ancak normal özgül ağırlıktaki kalker tozunun kullanıldığı karışımlarda, karışımdaki kalker tozu miktarından bağımsız bir şekilde su/toz karışım oranları sabit kaldığı, Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Karışımlar İçin Su/Toz Karışım Oranları

Priz sürelerinin tayin edildiği deney sonucunda karışımların priz başlangıç ve bitiş süreleri ise Şekil 3'te görülmektedir.



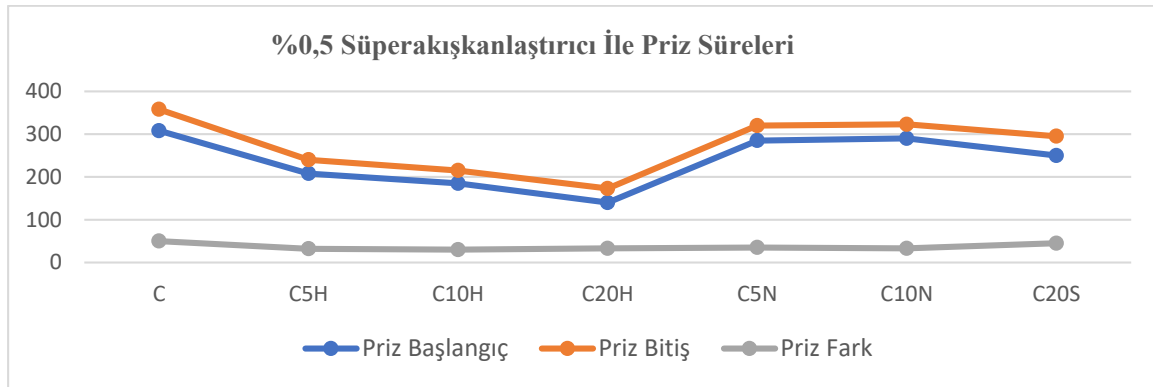
Şekil 3. SA Kullanılmayan Karışımlar İçin Priz Başlangıç, Priz Bitiş Süreleri

SA'nın kullanılmadığı 7 farklı deney numunesinde, toz malzemenin sırasıyla yüzde 0,5, 1, 1,5 oranlarında olacak şekilde süperakışkanlaştırıcı eklenmiştir. Priz başlangıç ve bitiş sürelerinin tespiti amacıyla 21 asıl ve 21 şahit numune deneye tabi tutulmuştur. Bu deneylerde kullanılan ağırlık cinsinden(gr.) malzeme miktarları, numunelere ait priz başlangıç süreleri ve priz süreleri (sn.) olarak aşağıdaki çizelge 4'te görülmektedir.

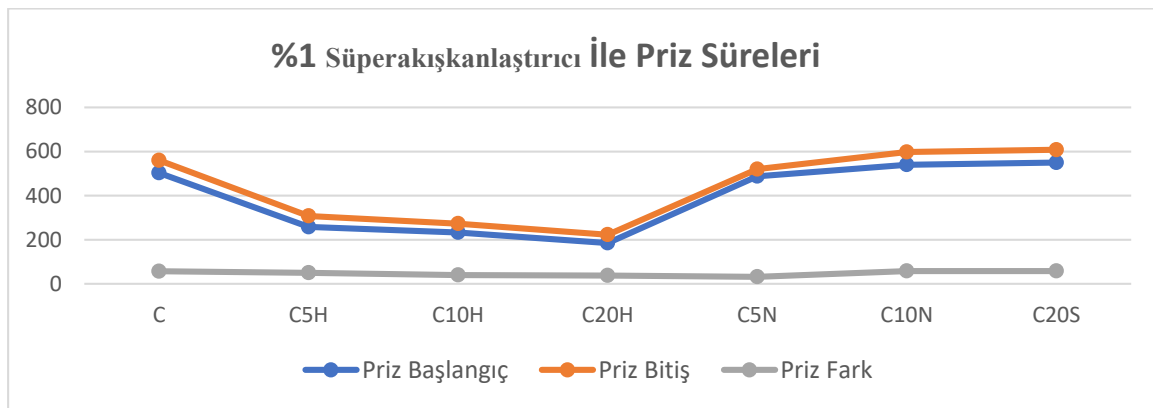
Çizelge 4. SA Kullanılan Karışımlarda Kullanılan Malzeme Miktarları ve Priz Süreleri

NUMUNE	SA (%)	SA (gr)	KT (gr)	C (gr)	Toz Karışım (gr)	Su (gr)	Toplam K. (gr)	Priz Basl.(sn)	Priz Bitiş (sn)	Priz Fark (sn)
C05SA	0,5	8	0	1600	1600	384	1984	308	358	50
C10SA	1	16	0	1600	1600	384	2000	503	560	57
C15SA	1,5	24	0	1600	1600	384	2008	870	948	78
C05H05SA	0,5	8	80	1520	1600	400	2008	208	240	32
C05H10SA	1	16	80	1520	1600	400	2016	258	308	50
C05H15SA	1,5	24	80	1520	1600	400	2024	398	453	55
C10H05SA	0,5	8	160	1440	1600	416	2024	185	215	30
C10H10SA	1	16	160	1440	1600	416	2032	233	273	40
C10H15SA	1,5	24	160	1440	1600	416	2040	310	360	50
C20H05SA	0,5	8	320	1280	1600	464	2072	140	173	33
C20H10SA	1	16	320	1280	1600	464	2080	185	223	38
C20H15SA	1,5	24	320	1280	1600	464	2088	268	333	65
C05N05SA	0,5	8	80	1520	1600	368	1976	285	320	35
C05N10SA	1	16	80	1520	1600	368	1984	488	520	32
C05N15SA	1,5	24	80	1520	1600	368	1992	700	758	58
C10N05SA	0,5	8	160	1440	1600	368	1976	290	323	33
C10N10SA	1	16	160	1440	1600	368	1984	540	598	58
C10N15SA	1,5	24	160	1440	1600	368	1992	733	803	70
C20N05SA	0,5	8	320	1280	1600	368	1976	250	295	45
C20N10SA	1	16	320	1280	1600	368	1984	550	608	58
C20N15SA	1,5	24	320	1280	1600	368	1992	820	915	95

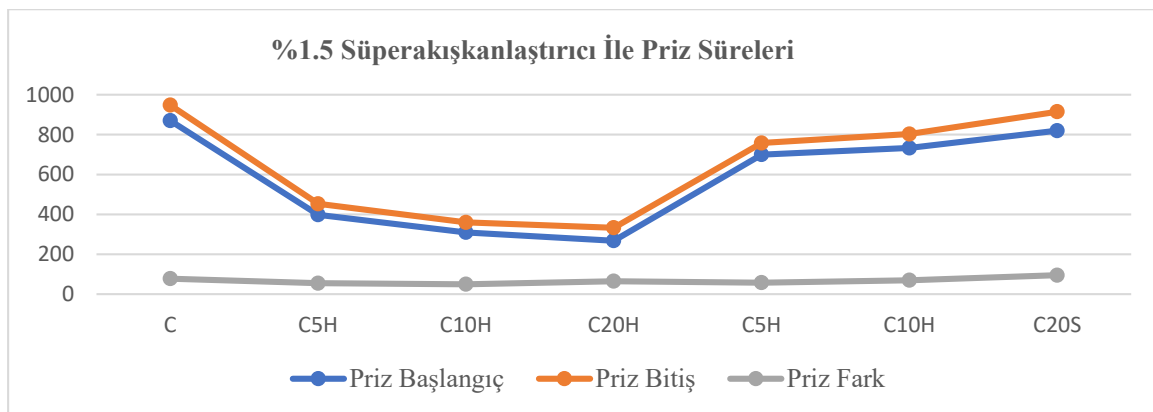
SA miktarına göre deneylerden elde edilen, priz başlangıç ve bitiş süreleri Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6'da görülmektedir.



Şekil 4. %0,5 Oranında SA Kullanılan Karışımlarda Priz Başlangıç, Priz Bitiş Süreleri



Şekil 5. %1 Oranında SA Kullanılan Karışımlarda Priz Başlangıç, Priz Bitiş Süreleri



Şekil 6. %1,5 Oranında SA Kullanılan Karışımlarda Priz Başlangıç, Priz Bitiş Süreleri

4. Sonuçlar

Farklı tip ve oranlarda kalker tozu kullanılan çimento hamurlarında, uygun kıvamın elde edilmesi için gerekli su miktarları bulunmuştur. Uygun miktardaki su kullanımıyla birlikte numunelerin priz başlangıç ve priz bitiş süreleri tespit edilmiştir. Farklı dozajlardaki SA kullanımının, kalker tozu-çimento karışımı olan hamurlarda priz sürelerine etkileri incelenmiştir. Yapılan analizler ve deneyler sonucunda, kullanılan 2 farklı tip kalker tozunun, birbirinden farklı kimyasal bileşenlere ve özgül ağırlıklara sahip olduğu görülmüştür. H tipi kalker tozları, mevcut kalker tozlarına göre düşük

bir özgül ağırlığa sahiptir. SA'nın kullanılmasına veya kullanılmamasına bağlı olarak farklı sonuçlar elde edilmiştir.

SA'nın kullanılmadığı deneylerde şu sonuçlara ulaşılmıştır:

- N tipi kalker tozlarının kullanıldığı numunelerde, kıvam için gerekli su miktarı, kalker tozu miktarından bağımsız bir şekilde sabit kalırken, H tipi kalker tozlarının kullanıldığı numunelerde kıvam için gerekli su miktarı, kalker tozunun kullanım miktarına bağlı olarak artış göstermiştir.

- Priz başlangıç ve bitiş süreleri ise H tipi kalker tozlarının kullanıldığı numunelerde kalker tozu miktarı arttıkça düşüş gösterirken, N tipi numunelerde ise tersine, kalker tozu miktarına bağlı olarak artış göstermiştir. Bu da SA'nın kullanılmadığı üretimlerde H tipinin priz hızlandırıcı, N tipinin ise priz yavaşlatıcı özelliğinin olduğu anlamını taşımaktadır.

SA'nın kullanıldığı deneylerde elde edilen sonuçlar ise şöyledir:

- Bütün deneylerde ise priz başlangıç ve bitiş süreleri, kullanılan SA dozajına bağlı olarak artış göstermiştir.

- En uzun priz başlangıç ve bitiş süreleri, tamamı çimentodan oluşan numunelerde, görülmüştür.

- En düşük priz başlangıç ve bitiş süreleri ise H tipi kalker tozlarının kullanıldığı numunelerde görülmüştür.

- Elde edilen bilgiler ışığında, N tipi kalker tozlarının kullanımının kıvam ve priz sürelerinde çimentoyla uyumlu bir şekilde çalıştığı görülürken, priz hızlı bir şekilde tamamlanmasının arzu edildiği üretim türlerinde ise H tipi numunelerin kullanımının büyük avantajlar sunacağı düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma; Adıyaman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi birimi tarafından MÜFMAP/2018-0001 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1]. Berriel S. S., Favier A., Domínguez E. R., Machado I. S., Heierli, U. Scrivener, K., ... & Habert, G. Assessing the environmental and economic potential of Limestone Calcined Clay Cement in Cuba. *Journal of cleaner Production* 2016; 124, 361-369.
- [2]. Olivier J.G.J., Janssens-Maenhout G., Muntean M., Peters J.A.H.W. Trends in Global CO2 Emissions: Report. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency; Ispra: European Commission, Joint Research Centre, The Hague. 2015.
- [3]. Kou S.C., Poon C.S. Properties of self-compacting concrete prepared with coarse and fine recycled concrete aggregates. *Cement Concr. Compos.* 2009; 31 (9), 622-627.
- [4]. Yang L., Zhang Y., Yan Y. Utilization of original phosphogypsum as raw material for the preparation of self-leveling mortar. *J. Clean. Prod.* 2016; 127, 204-213.
- [5]. Hameed A. H. Effect of superplasticizer dosage on workability of self compact concrete. *Diyala Journal of Engineering Sciences* 2012; 5(2), 66-81.
- [6]. Kumar D., Lopes B., Mhatre K., Nityanand R., & Heggond S. To Study Physical Properties of Self Compacting Concrete. *Int. J. Innov. Eng. Sci.* 2020; 5(6), 36.
- [7]. Sathya T., Padmanaban I. Effect of Steel Fibres as Reinforcement in Self Compacting Concrete. *International Journal of Advanced Research Methodology in Engineering & Technology* 2017; 1(2), 170-173.
- [8]. Kang D. G., Kim G. Y., & Kim J. W. An Experimental Study on the Characteristics of Evaluation with Feature of Self Levelling Primer. In *Proceedings of the Korea Concrete Institute Conference Korea Concrete Institute* 2006; 505-508.

- [9]. Figliuzzi G., Vazquez E., Nobrega J., dos Santos J., & Alves L. Comparison of Self-levelling Underlayment to Traditional Methods Used in Brazil. *Journal of Civil Engineering and Architecture* 2019; 13, 373-380.
- [10]. EFNARC. The European guidelines for self-compacting concrete specification, production and use. The European Federation of specialist construction chemicals and concrete systems 2004.
- [11]. Topcu İ.B., Bildir T., Baylavlı H., Kendiliğinden Yerleşen Betonun Özellikleri. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Müh.Mim.Fak.Dergisi* 2008; C.XXI, 1.
- [12]. Ghasemi M., Rasekh H., Berenjian J., Jafari H.A. Dealing with workability loss challenge in SCC mixtures incorporating natural pozzolans: A study of natural zeolite and pumice. *Construction and Building Materials* 2019; 424-436.
- [13]. Usman M., Khan A. Y., Farooq S. H., Hanif A., Tang S., Khushnood R. A., & Rizwan S. A. Eco-friendly self-compacting cement pastes incorporating wood waste as cement replacement: A feasibility study. *Journal of Cleaner Production* 2018; 190, 679-688.
- [14]. Pelisser F., Vieira A., & Bernardin A. M. Efficient self-compacting concrete with low cement consumption. *Journal of Cleaner Production* 2018; 175, 324-332.
- [15]. Fediuk R. S., Lesovik V. S., Svintsov A. P., Mochalov, A. V., Kulichkov S. V., Stoyushko N. Y., ... & Timokhin R. A. Self-compacting concrete using pretreated rice husk ash. *Magazine of Civil Engineering* 2018; 79(3).
- [16]. Anjos M. A., Camões A., Campos P., Azeredo G. A., & Ferreira R. L. Effect of high volume fly ash and metakaolin with and without hydrated lime on the properties of self-compacting concrete. *Journal of Building Engineering*, 2020; 27, 100985.
- [17]. Tohumcu İ., Bingöl F. Silis Dumanı ve Uçucu Kül Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Taze Beton Özellikleri ve Basınç Dayanımları, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi* 2013; 15-43, 31-44.
- [18]. Moon G. D., Oh S., Jung S. H., & Choi Y. C. Effects of the fineness of limestone powder and cement on the hydration and strength development of PLC concrete. *Construction and Building Materials* 2017; 135, 129-136.
- [19]. Annual Book of ASTM Standards. Standard performance specification for hydraulic cement. American Society for Testing and Materials, PA, ASTM C 1157-00a, 2002.
- [20]. EN, T.S. 934-2, "Admixtures For Concrete, Mortar and Grout-Part 2: Concrete Admixtures; Definitions, Requirements, Conformity, Marking and Labelling". TSE (Turkish Standards Institute), 2002.
- [21]. ASTM C191, Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle, ASTM, Pennsylvania 2003; 179-184.

LOKAL ENDEMİK RIBES ANATOLICA BEHÇET (GROSSULARIACEAE) MEYVELERİNİN BAZI FİZİKOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ, TOPLAM FENOLİK MADDE MİKTARI, ANTIOKSİDAN KAPASİTELERİ VE FENOLİK KOMPOZİSYONUNUN BELİRLENMESİ

Bayram YURT^{1*} , Lütfi BEHÇET², Nurullah DEMİR³, A. Adnan HAYALOĞLU⁴

¹Bingöl Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bingöl, 12000, Türkiye

²Bingöl Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Bingöl, 12000, Türkiye

³Bingöl Üniversitesi, Gıda, Tarım ve Hayvancılık Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Bingöl, 12000, Türkiye

⁴İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Malatya, 44000, Türkiye

Geliş tarihi: 03.06.2021 Kabul tarihi: 20.06.2021

ÖZET

Bu çalışmada, yeni bir tür olan *Ribes anatolica* Behçet türünün yabancı meyvelerinin nem miktarı % 74.69 ± 1.03 , kuru madde miktarı % 25.31 ± 1.03 , su aktivitesi (aw) 0.948 ± 0.001 , Suda çözünen kuru madde miktarı (Briks) 17.96 ± 1.31 , pH 4.120 ± 0.013 , Titrasyon asitliği 0.94 ± 0.07 (g sitrik asit / 100g), Yüzey rengi değerleri $L^* 57.79 \pm 0.85$, $a^* 10.19 \pm 1.70$, $b^* 4.03 \pm 1.34$, $C^* 10.98 \pm 2.03$ ve $h^\circ 21.13 \pm 3.80$, Toplam fenolik madde miktarı 11.37 ± 0.88 (mg G.A.E./ 100g kuru ağırlık) ve Antioksidan kapasitelerini gösteren ABTS değerleri 314.85 ± 52.97 ($\mu\text{mol T.E.} / 100\text{g kuru ağırlık}$) ve DPPH değerleri 213.24 ± 20.32 ($\mu\text{mol T.E.} / 100\text{g kuru ağırlık}$), Fenolik bileşikler $\mu\text{g/g}$ olarak; Gallik asit 3.51 ± 1.86 , Protocatechuic asit 22.80 ± 5.88 , 4-dihydroxy benzoik asit 19.17 ± 4.89 , Syringik asit 13.52 ± 4.29 , Trans-cinnamik asit 31.92 ± 18.22 , Chlorogenik asit 22.69 ± 0.36 , Rutin 152.47 ± 17.32 , Quercetin-3-O-glucoside 114.71 ± 2.99 ve Kaempferol-3-O-glucoside 32.13 ± 2.35 düzeyinde bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: *Ribes anatolica* Behçet, Fizikokimyasal özellik, Antioksidan, Fenolik bileşikler

DETERMINATION OF SOME PHYSICO-CHEMICAL FEATURES , ANTIOXIDANT CAPACITIES, TOTAL PHENOLIC CONTENT AND PHENOLIC COMPOSITION OF LOCAL ENDEMİK RIBES ANATOLICA BEHÇET (GROSSULARIACEAE) FRUITS

ABSTRACT

In this study, a new species, *Ribes anatolica* Behçet, analysis mean values were found as the following; moisture content $74.69 \% \pm 1.03$, dry matter $25.31\% \pm 1.03$, water activity (aw) 0.948 ± 0.001 , water soluble solids content (Brix) 17.96 ± 1.31 , pH 4.120 ± 0.013 , titratable acidity 0.94 ± 0.07 (g citric acid / 100g), surface color values $L^* 57.79 \pm 0.85$, $a^* 10.19 \pm 1.70$, $b^* 4.03 \pm 1.34$, $C^* 10.98 \pm 2.03$ and $h^\circ 21.13 \pm 3.80$, Total amount of phenolic substance 11.37 ± 0.88 (mg G.A.E./ 100g dry matter), showing antioxidant capacities, ABTS values 314.85 ± 52.97 ($\mu\text{mol T.E.} / 100\text{g dry matter}$) and DPPH values 213.24 ± 20.32 ($\mu\text{mol T.E.} / 100\text{g dry matter}$), Phenolic compounds in $\mu\text{g/g}$; Gallic acid 3.51 ± 1.86 , Protocatechuic acid 22.80 ± 5.88 , 4-dihydroxy benzoic acid 19.17 ± 4.89 , Syringic acid 13.52 ± 4.29 , Trans-cinnamic acid 31.92 ± 18.22 , Chlorogenic acid 22.69 ± 0.36 , Rutin 152.47 ± 17.32 , Quercetin-3-O-glucoside 114.71 ± 2.99 and Kaempferol-3-O-glucoside 32.13 ± 2.35 .

Keywords: *Ribes anatolica* Behçet, Physicochemical properties, Antioxidant, Phenolic compounds

* e-posta¹: byurt@bingol.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5447-1586> (Sorumlu Yazar)

e-posta²: lbehcet@bingol.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8334-7816>

e-posta³: ndemir@bingol.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9221-7826>

e-posta⁴: adnan.hayaloglu@inonu.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4274-2729>

1. Giriş

Dünya’da bu güne kadar tespit edilmiş yaklaşık 550000 bitki türü bulunmaktadır [1]. Bir ülkede yetişen bitki türlerin sayısı, ilginçliği, bitkilerin yayılışı ve çeşitli vejetasyon tiplerine sahip olması o ülkenin florasının zenginliğini göstermektedir. Bitki türlerinin bir kısmını üzümü meyveler oluşturur. Üzümü meyvelere sahip familyalardan biri de Grossulariaceae’dir [2].

Türkiye’de doğal olarak üzümü meyve olarak kullanılmakta olan taksonların birçoğu yetişmektedir. Üzümü meyveler vitamin ve mineral maddesi bakımından zengin, insan sağlığı açısından da önemli olup, gıda sektöründe meyve suyu, meyveli yoğurt, dondurma, konserve, reçel, vs. yapımında kullanımı artarak devam etmektedir [3].

Günümüzde insanoğlu günlük yaşantısında maruz kaldığı çevre şartları, teknolojinin hızlı bir şekilde gelişmesi, sanayileşmenin getirdiği olumsuzluklar, radyasyon, sağlıksız ve dengesiz beslenme, artan pestisit kullanımı, sigara alkol gibi zararlı alışkanlıklar gibi birçok sebepten dolayı insanlarda stres düzeyinin artmasıyla birlikte hücrelerde serbest radikaller oluşmaktadır [4][5].

Hücrelerde meydana gelen serbest radikaller ve ürünleri vücudun hücrel savunma mekanizması ile zararsız duruma getirilmektedirler. Ancak bazen antioksidan savunma sistemi ile etkisiz hale getirilenden daha çok serbest radikal türleri oluşarak oksidatif stres oluşmaktadır. Serbest radikaller karbonhidratlar, proteinler ve lipitler gibi hücre bileşenlerini olumsuz etkileyerek, DNA’daki nükleik asit bazları değiştirerek ve yararlı enzimleri bozarak meydana getirdiği oksidatif zarar; kanser vs. gibi, çeşitli rahatsızlıkların görülmesine neden olmaktadır [6].

İnsan vücudunda serbest radikallerin zararlı etkilerini gidermek için sürekli olarak Süperoksit Dismutaz (SOD), Katalaz (CAT), Glutasyon Peroksidaz (GSH-Px) gibi enzim üretimi olmaktadır. Buna ilaveten tükettiğimiz gıdaların antioksidan özellikleri de vücudumuzun antioksidan savunma sistemine çok büyük ve önemli katkılar yapmaktadır [7]. Serbest radikallerin etkilerini engellemek veya yavaşlatmak amacıyla ilaçlardan ziyade antioksidan içerikli gıdaların tüketilmesi önem arz etmektedir. Tüketilen pek çok gıdada bulunan özellikle de bitkisel kaynaklı antioksidanların bazı hastalık risklerini azalttığı ve ortadan kaldırdığı bilinmektedir [8].

Modern tıptaki gelişmelerle beraber özellikle kırmızı renkli doğal meyvelerin antioksidan özellikleri üzerine yapılan araştırmalarda; birçok sindirim sistemi kanser tiplerinde koruyucu ve iyileştirici özellikler gözlemlenmiştir [9].

Ribes türleri Ülkemizde frenk üzümü olarak bilinmektedir. Frenk üzümü botanik olarak asıl üzümler grubuna dâhildir. Bitkilerin gövde özelliklerine göre yapılan tasnifte ise, çalimsı gövdeliler grubuna girmektedirler. Frenk üzümü Rosales takımının Saxifragaceae familyasının Ribes cinsindedir. Ribes cinsine ait ilk bilimsel çalışma 1904 yılında yapılmış olup bunu 1924 te yapılan çalışma takip etmiştir [10].

Antioksidan maddelerce zengin gıdaları tüketen kişilerde çeşitli kanser ve kalp-damar hastalıklarına yakalanma oranının daha düşük olduğu bilinmektedir [11].

Gelişmiş ülkelerde olduğu gibi Türkiye’de de insan sağlığı açısından büyük öneme sahip antioksidan kapasitesi yüksek meyvelere ve bu meyvelerden elde edilen ürünlere olan alaka gün geçtikçe artmaktadır [12].

Bitki florası açısından zengin olan ülkemizde kültüre alınan meyvelerin yanında büyük bir kısmı üreticilerimiz tarafından tanınan ancak yetiştiriciliği yapılmayan, doğal olarak yetişen birçok yabancı meyve türü bulunmaktadır [13].

Ülkemizde Ribes türleri genellikle Ülkemizin Kuzeydoğu Anadolu bölgesinde bulunmaktadır [14]. Ülkemizde Ribes cinsinin 8 türü mevcut olup bunlardan 7 tanesi doğal olarak yetişmekte, 1 tanesi de kültür bitkisi olarak yer almaktadır [15].

2001 yılında Doğu Anadolu Bölgesinde bilim dünyası için yeni ve endemik olan *Ribes anatolica* Behçet türü tanımlanmıştır [16]. Ribes anatolica Behçet türünün çiçeklenme dönemi Mayıs-Haziran aylarında meyvelenme dönemi ise temmuz ayında olup, meyve özellikleri 5 mm çapta, küremsi, kırmızı ya da sarımsı kırmızı, tüsüzdür [14].

Yapılan çalışmalar sonucunda Grossulariaceae familyası üyelerinin halk arasında yapraklarının daha çok antiromatizmal ve diüretik amaçlı kullanıldığı meyvelerinin ise gıda amaçlı tüketildiği belirtilmiştir [14][17].

2. Materyal ve Metod

2.1. Materyal

Ribes anatolica Behçet bitkisi, Ülkemizde Bitlis ili sınırları içerisinde yaklaşık 2500 m rakımda, volkanik kayalık alanlarda yayılış gösteren endemik bir türdür (Şekil 1). 2018 yılı Temmuz ayının ilk haftasında bu türün olgun ve doğal meyveleri yeteri kadar toplanıp laboratuvara getirilerek analizleri yapılmıştır (Şekil 2). Peryodisite göstermediği için 2019 yılı Temmuz ayının ilk haftası tekrar aynı bölgede meyve toplama işlemi tekrarlanmıştır.



Şekil 1. Toplanmaya hazır meyveler



Şekil 2. Toplanmış meyveler

2.2. Metod

Su aktivitesi tayininde analize hazırlanan örneklerin su aktivitesi, örneklerden belirli miktarda alınarak su aktivitesi ölçüm cihazı (Novasina, Germany) ile belirlenmiştir [18]. Suda çözünür kuru madde miktarı el tipi refraktometre (Atago, Tokyo, Japan) ile Briks olarak ölçülmüştür [19]. pH analizi pH metre (Thermo Scientific, Orion3Star, Singapur) kullanılarak ölçülmüştür [20]. Yabani meyvelerin renk değerleri Hunter (L*, a*, b*) renk ölçüm sisteminde renk ölçer ile oda sıcaklığında ölçülmüştür [20]. Toplam kuru madde [20]'ye göre belirlenmiştir.

Antioksidan aktivite tayininde DPPH' ve ABTS' değerleri [21]'e göre ölçülmüştür. Toplam fenolik madde (TFM) miktarı Folin yöntemi kullanılarak spektrofotometrik olarak belirlenmiştir [19]. Fenolik bileşenler HPLC (Shimadzu, LC-20 AD Prominence, Kyoto, Japonya), detektör (SPD-M20A) ve C18 kolon (ODS3, 250×4.6 mm, 5µm, Phenomenex, A.B.D.) kullanılarak belirlenmiştir [19].

3. Sonuçlar

R. anatolica Behçet bitkisi meyvelerinin fizikokimyasal özellikleri, toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan aktiviteleri Çizelge 1'de, fenolik madde kompozisyonu ise Çizelge 2'de verilmiştir.

R. anatolica Behçet meyvelerinin nem değeri ortalama % 74.69 ve kuru madde miktarları da % 25.31 olarak bulunmuştur. *R. anatolica* Behçet meyveleri kuru madde açısından zengindir. Bir meyvede kuru madde miktarının yüksek çıkması kuru madde içerisinde yeralan biyoaktif bileşenlerinde yüksek olduğunu göstermektedir.

Su aktivitesi analiz sonuçları ortalama 0.948 olup bu değer bu meyvenin bozulmasının ve dolayısıyla besin değerinin yitirmesinin hızlı olabileceğini göstermektedir. Ortalama bu değer yabancı meyveler için normal kabul edilmektedir.

Çizelge 1. *Ribes anatolica* Behçet bitkisi meyvelerinin fizikokimyasal özellikleri, toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan aktiviteleri

Nem (%)	74.69 ± 1.03
Su aktivitesi	0.948 ± 0.001
Kuru madde (%)	25.30 ± 1.03
Suda çözünen kuru madde miktarı (Briks)	17.96 ± 1.31
pH	4.120 ± 0.013
Titrasyon asitliği (g sitrik asit / 100g)	0.94 ± 0.07
Yüzey rengi değerleri	
L*	57.79± 0.85
a*	10.19± 1.70
b*	4.03 ± 1.34
C*	10.98 ± 2.03
h°	21.13 ± 3.80
Toplam fenolik madde miktarı (mg G.A.E./ 100g kuru ağırlık)	11.37 ± 0.88
ABTS antioksidan aktivite (µmol T.E. / 100g kuru ağırlık)	314.85 ± 52.97
DPPH antioksidan aktivite (µmol T.E. / 100g kuru ağırlık)	213.24 ± 20.32

R. anatolica Behçet meyvelerinin briks değeri (% çözünen kuru madde) 17.96 civarındadır. Briks miktarını daha çok früktoz ve glukoz gibi şekerlerle, malik asit, sitrik asit ve tartarik asit gibi organik asitler oluşturmaktadır. *Ribes anatolica* Behçet meyvelerinin suda çözünen kuru madde değeri açısından iyi seviyede olduğu düşünülmektedir.

Analizlerini yaptığımız *R. anatolica* Behçet meyvelerinin asitliğini ilgilendiren pH ve titrasyon asitliği değerleri sırasıyla ortalama 4.12 ve 0.94 (g sitrik asit/ 100 g) olarak bulunmuştur. Bu değerler *R. anatolica* Behçet meyvelerinin ekşimsi-asidik bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir.

R. anatolica Behçet doğal meyvesinin yüzey renk değerleri kendine has bir görünüm arz etmekte olup bu alanda yapılmış herhangi bir çalışma bulunmamaktadır.

R. anatolica Behçet bitkisinin yabancı doğal meyvelerinin toplam fenolik madde miktarı 11.37 mg G.A.E. / 100g kuru ağırlık olarak tespit edilmiştir. Yapılan bir çalışmada çeşitli *Ribes* türlerinin meyvelerinde toplam fenolik miktarları ise 8.40-20.10 mg G.A.E. / g arasında değişmiştir [26]. Bu sonuçlar çalışmamızda bulduğumuz değerlerden yüksektir. Farklı *Ribes* türlerinin toplam fenolik madde miktarlarında benzerlik olmaması beklenen bir durumdur.

R. anatolica Behçet bitkisinin doğal meyvelerinin antioksidan kapasitelerini gösteren ABTS değerleri 314.85 µmol T.E. / 100g kuru ağırlık ve DPPH değerleri 213.24 µmol T.E. / 100g kuru ağırlık olarak bulunmuştur. *Ribes* türlerinin antioksidan etkileri daha önce yapılan invitro çalışmalarda belirlenmiştir [22] [23] [24] [25]. Yapılan bir çalışmada toplam antioksidan kapasitesi *Ribes* meyvelerinin iki çeşidinin yaş ağırlığında 21 µmol TE/g 161 µmol TE/g arasında değişmiştir [26]. *Ribes khorasanicum* antioksidan ve biokomponentlerinin incelendiği bir çalışmada bu türün antioksidan kapasitelerini gösteren DPPH değeri kuru maddede 6.42 mg / g olarak bulunmuştur [27]. Bu oranlar çalışmamızda bulduğumuz miktarlardan daha yüksektir. Farklı *Ribes* türleri arasında bu durum beklenilmektedir.

R. anatolica Behçet alt türünün yaprak ve dal kısımlarında çok sayıda analiz yapılmış [22], fakat bu alt türün meyvelerinde toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan kapasiteleri üzerine herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Çizelge 2. *Ribes anatolica* Behçet bitkisi meyvelerinde tespit edilen fenolik maddelerin miktarı ($\mu\text{g/g}$)

Gallic acid	3.51± 1.86
Protocatechuic acid	22.80± 5.88
4-dihydroxy benzoic acid	19.17± 4.89
Syringic acid	13.52 ± 4.29
Trans-cinnamic acid	31.92 ± 18.22
Chlorogenic acid	22.69 ± 0.36
Rutin	152.47 ± 17.32
Quercetin-3-O-glucoside	114.71 ± 2.99
Kaempferol-3-O-glucoside	32.13 ± 2.35

Ribes anatolica Behçet meyvelerinin fenolik madde miktarı analizinde öne çıkan fenolik madde ve miktarları sırasıyla Gallic acid 3.51 $\mu\text{g/g}$, Protocatechuic acid 22.80 $\mu\text{g/g}$, 4-dihydroxy benzoic acid 19.17 $\mu\text{g/g}$, Syringic acid 13.52 $\mu\text{g/g}$, trans-cinnamic acid 31.92 $\mu\text{g/g}$, Chlorogenic acid 22.69 $\mu\text{g/g}$, Rutin 152.47 $\mu\text{g/g}$, Quercetin-3-O-glucoside 114.71 $\mu\text{g/g}$ ve Kaempferol-3-O-glucoside 32.13 $\mu\text{g/g}$ olarak tespit edilmiştir. Yapılan fenolik kompozisyon analizinde Vanillic acid, Procyanidin B2, Catechin, Epicatechin, Hesperidin, Caftaric acid, 2,5- dihydroxybenzoic acid, Trans-caffeic acid, P-coumaric acid, Sinapic acid, Ferulic acid, Resveratrol, Myricetin, Quercetin, Luteolin, Kaempferol, Cyanidin-3-O-glucoside ve Cyanidin-3-O-rutinoside tespit edilebilir düzeyin altında belirlenmiştir. *Ribes* türlerinde çok sayıda fenolik madde miktarları analizi yapılmıştır fakat *R. anatolica* Behçet bitkisinin yabani doğal meyvelerinin fenolik madde kompozisyonu üzerinde yapılmış bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Yapılan bir çalışmada *Ribes nigrum* ve *Ribes multiflorum* yapraklarının metanol özleri, önemli yara iyileşmesi göstermiştir [27]. 2001 yılında bilim dünyası için yeni ve lokal endemik olan *R. anatolica* Behçet alt türü tanımlanmıştır. *R. anatolica* Behçet bitkisinin doğal meyvelerinin analizinin yapıldığı bu çalışma sayesinde bu alt türün Ülkemiz ve Dünya'daki tanınırlığına katkıda bulunacaktır. Ayrıca bu çalışma genelde *Ribes* türleri ve özelde ise *Ribes anatolica* Behçet alt türünün meyveleri ile ilgili yapılacak çalışmalara katkı sunacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma; Bingöl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BÜBAP) tarafından BAP-MMF.2017.00.004 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Efe R. 2010. Biocoğrafya. Marmara Kitap Merkezi Yayıncılık Ltd. Şti. No: 16215. Bursa.
- [2] Heywood, V.H., Brummitt, R. K., Culham, A., Seberg, O. (2007). Flowering Plant Families of The World. Firefly Books pres, Ontario, Canada, p.: 160.
- [3] Karaer, F., Adak, Y. Türkiye florasında uzumsuz meyve olarak kullanılan taksonların yayılış alanları ve ekolojik özellikleri. 2006. II. Ulusal Üzümü Meyveler Sempozyumu, Bildiriler: 36-43, 14-16 Eylül 2006 /Tokat.
- [4] Ames, B.N., Shigenaga, M.K., Hagen, M.T. Oxidants, antioxidants and the degenerative diseases of aging. 1993. Proc. Natl. Acad. Sci.,90: 7915-7922.
- [5] Kadiiska, M.B., Gladen, B.C., Baird, D., Graham, I., Parker, C. and Ames, B.. Biomarkers of oxidative stress study III. Effects of the nonsteroidal antiinflammatory agents indomethacin and meclofenamic acid on measurements of oxidative products of lipids in CC14 poisoning. 2005. Free Rad. Bio. Med., 38:711-718.
- [6] Mates, J.M., Sanchez-Jimenez, F.M. Role of oxygen species in apoptosis: implications for cancer therapy. 2000. International Journal of Biochemistry and Cell Biology, 32: 157-170.

- [7] Pellegrini, N., Miglio, C., Delrio, D. Effect of domestic cooking methods on the total antioxidant capacity of vegetables. 2009. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 60 (Suppl 2): 12–22.
- [8] Karakaya S, El S, Tas AA. Antioxidant activity of some foods containing phenolic compounds. 2001. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*; 52: 501-508
- [9] Özgen, M., Serçe, S., Kaya, K. Phytochemical and antioxidant properties of anthocyanin-rich *Morus Nigra* and *Morus Rubra* fruits. 2009. *Scientia horticulturae*, 119: 275-279.
- [10] Eyduran, S. P., Ağaoğlu, Y. S. Ankara (Ayaş) koşullarında yetiştirilen frenk uzumu çeşitlerinin bazı pomolojik ve bitkisel özellikleri. 2007. *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarım Bilimleri Dergisi*, 13 (3): 293-298.
- [11] Miller, N.J., Paganga, G. Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. 1996. *Free Radical Biology & Medicine*, 20: 933-956.
- [12] Scheerens, J.C. Phytochemicals and the consumers: factors affecting fruit and vegetable consumption and the potential for increasing small fruit in the diet. 2001. *Horttech*, 11:547-556.
- [13] Kökosmanlı, M., Keleş, F. Erzurum’da yetiştirilen kıvılcık meyvesinin marmelat ve pulpa işlenerek değerlendirilmesi. 2000. *Gıda* 25(4): 289-298.
- [14] Kendir, G. Türkiye’de doğal olarak yetişen *Ribes L.* Türleri Üzerinde farmasötik botanik yönünden Araştırmalar. 2012. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, 359s. Ankara.
- [15] Chamberlain D.F. *Ribes L.* In Davis P.H. (ed.) *Flora of Turkey and The East Aegean Islands*. 1972. Edinburgh Universty Press, vol. 4: 261-263.
- [16] Behçet, L. A new species of *Ribes L.* (Grossulariaceae) from east Anatolia, Turkey. 2001. *Turk. J. Botany.*, 25: 103-105.
- [17] Kılıç, C. S., Koyuncu, M., Ozek, T., Başer, K. H. C. (2008). Essential oil of the leaves of *Ribes nigrum L.* from Turkey. *Journal of Essential Oil Research*, 20(6): 512-514.
- [18] AOAC. 1990. Official Method 979.23: Saccharides (major) in corn syrup.
- [19] Karabulut, İ., Bilenler, T., Sislioglu, K., Gökbulut, İ., Özdemir, İ.S., Seyhan, F., Öztürk, K. Chemical composition of apricots affected by fruit size and drying methods, *Drying Technology*, 2018. 36:16, 1937-1948.
- [20] Cemeröğlu, B. *Gıda analizleri*. 2010. *Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları*, No:34. 657s.
- [21] Singleton, V.L., Orthofer, R., Lamuela-raventós, R.M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. 1999. *Methods in Enzymology*, 299: 152-178.
- [22] Kendir, G., Koroğlu, A. In vitro antioxidant effect of the leaf and branch extracts of *Ribes L.* species in Turkey. 2015. *Int. J. Pharma Sci. Res.* 2, 108.
- [23] Tabart, J., Franck, T., Kevers, C., Pincemail, J., Serteyn, D., Defraigne, J.-O., Dommes, J. 2012. Antioxidant and anti-inflammatory activities of *Ribes nigrum* extracts. *Food Chem.* 131, 1116–1122.
- [24] Sasaki, T., Li, W., Zaike, S., Asada, Y., Li, Q., Ma, F., Zhang, Q., Koike, K., 2013. Antioxidant lignoids from leaves of *Ribes nigrum*. *Phytochemistry* 95, 333–340.
- [25] Cyboran, S., Bonarska-Kujawa, D., Pruchnik, H., Zylka, R., Oszmianski, J., Kleszczynska, H., 2014. Phenolic content and biological activity of extracts of blackcurrant fruit and leaves. *Food Res. Int.* 65, 47–58.
- [26] Wu, X., Gu, L. Prior, R.L., Mckay, S. J. Characterization of Anthocyanins and Proanthocyanidins in Some Cultivars of *Ribes*, *Aronia*, and *Sambucus* and Their Antioxidant Capacity. 2004. *Agric. Food Chem.*, 52, 7846–7856.
- [27] Yazdi, M. E.T., Khara, J., Husaindokht, M. R., Sadeghnia, H. R., Bahabadi, S. E., Amiri, M.S., Darroudi, M. Biocomponents and Antioxidant Activity of *Ribes khorasanicum*. 2018. *International Journal of Basic Science in Medicine*. 3:(3), 99-103.
- [28] Kendir, G., Süntar İ., Çeribaşı, A. O., Köroğlu, A. Activity evaluation on *Ribes* species, traditionally used to speed up healing of wounds: With special focus on *Ribes nigrum*. 2019. *Journal of Ethnopharmacology* 237: 141–148.