

Ejosat

Sayı/Issue 21

Ocak/January 2021

AVRUPA BİLİM & TEKNOLOJİ DERGİSİ
EUROPEAN JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY

Dergi Sahibi

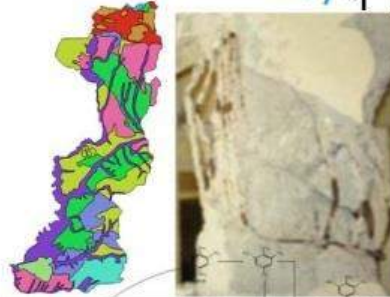
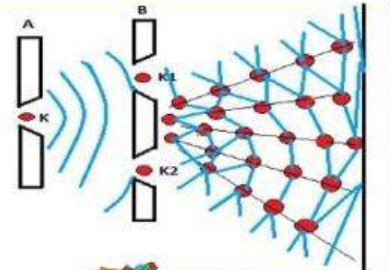
Prof. Dr. Osman SAĞDIÇ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Editörler

Prof. Dr. Osman SAĞDIÇ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Hüseyin TOROS
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ahmet DOĞAN
Yıldız Teknik Üniversitesi



Başta TR Dizin olmak üzere, Index Copernicus, CiteFactor, International Innovative Journal Impact Factor, Eurasian Scientific Journal Index, SJIFactor, DRJI, Scientific Indexing Services ve Google Scholar gibi indekslerde taranmaktadır.

TRDİZİN



INDEX COPERNICUS
INTERNATIONAL

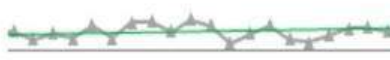
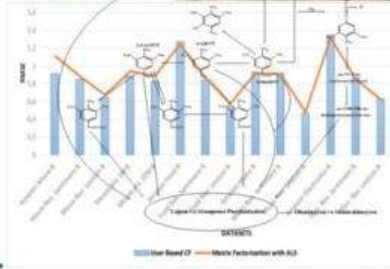


Dergi Sekreteri ve İletişim Bilgileri
Abdulkadir ŞAHİNER

E-posta: ejosat@outlook.com

Web Adresi: www.ejosat.com.tr

EJOSAT dergisi hakemli bir dergi olup, senede Mart, Ağustos ve Aralık aylarında olmak üzere 3 kez yayımlanmaktadır.



www.ejosat.com

ISSN: 2148 - 2683

AVRUPA BİLİM & TEKNOLOJİ DERGİSİ

EUROPEN JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY

OCAK/JANUARY 2021 (21. SAYI/ISSUE) İÇİNDEKİLER LİSTESİ/TABLE OF CONTENTS

- Eti Gümüş Maden İşletmeleri Atık Barajlarındaki Gümüşün Geri Kazanımına Asit Liçinin Etkisi / Sayfalar: 1-16
Selçuk YAMAN, Rukiye SAYGILI CANLIDİNÇ, Ferda ÖZMAL, Yunus ERDOĞAN
Karacabey'de (Bursa) Doğal Yayılış Yapan Gümüşü İhlamur (*Tilia tomentosa* Moench.)'un Bazı Morfolojik Özellikleri ile Yaprak ve Çiçek Uçucu Bileşenlerinin Belirlenmesi / Sayfalar: 17-24
Ayşe Gül SARIKAYA, Sefa DOĞDU
The Effect of an Induction Heating System on Power Quality Parameters / Sayfalar: 25-30
Hayrettin GÖKOZAN
Mikrodalga Destekli Çinko Borat Sentezi ve Karakterizasyonu / Sayfalar: 31-36
Hikmet OKKAY
Manyetik Dişli Sisteminin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi / Sayfalar: 37-42
Sinan BAŞARAN
Orange G'nin Sulu Çözeltilerden Uzaklaştırılması için α -Fe₂O₃ Nanopartiküllerinin Adsorban Olarak Kullanılması; Adsorpsiyon, Kinetik ve Termodinamik Özellikleri / Sayfalar: 43-52
Hakan KIZILTAŞ
Atmosferik Plazma Teknolojisi Kullanılarak Cep Telefonu Koruma Malzemelerine Antimikrobiyal Özellik Kazandırılması / Sayfalar: 53-66
Ece ÇOBAN, Gülşah ARSLAN, Fikret KEVEN, Fatma AYHAN, Hakan AYHAN
Bazı Pamuk Çeşitlerinde iPBS Analiziyle Genetik Varyasyonun Ortaya Çıkarılması / Sayfalar: 67-73
Ahmet Metin KUMLAY, Barış EREN, Serap DEMİREL, Fatih DEMİREL, Bünyamin YILDIRIM
Molecular Characterization of Partial RdRp Genes of Tomato Ringspot Virus Isolates from Turkey / Sayfalar: 74-82
Nevin AKDURA, Murat ŞEVİK
Electromagnetic Shielding Effectiveness of Wollastonite/PANI/Colemanite Composites / Sayfalar: 83-89
Ethem İlhan ŞAHİN, Mehriban EMEK
Tatvan, Ahlat ve Adilcevaz Bölgelerinde Sahil Kumlarında Radon Aktivite Konsantrasyon Seviyelerinin Belirlenmesi / Sayfalar: 90-94
Şule KARATEPE, Muhammed Fatih KULUÖZTÜRK, Mahmut DOGRU
Amino Acid and Hormone Content of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Grown in Drought Stress Created by PEG6000 / Sayfalar: 95-112
Ertan YILDIRIM, Adem GÜNEŞ, Metin TURAN, Recep KOTAN, Melek EKİNCİ
Az Örnekle Öğrenme Problemleri için MAML ve ProtoNet Algoritmalarının İncelenmesi / Sayfalar: 113-121
Ayla GÜLCÜ, Muhammet ALKAN
Meyve ve Sebzelere Aktif Ambalajlama Teknolojisinin Kullanımı / Sayfalar: 122-130
Mehmet Seçkin ADAY
İnegöl (Bursa) ve Domaniç (Kütahya) yöresi doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) ormanları için önemli bir tehdit: Kızılkuyruklu Kayın Tırtılı - *Calliteara pudibunda* (Linnaeus, 1758) / Sayfalar: 131-135
Oğuzhan SARIKAYA, Ali İhsan KADIOĞULLARI, Özden AÇICI
Turizm İşletmelerinde Bilgi ve İletişim Teknolojilerinden Blokzincir Teknolojisine Geçiş Süreci ve Uygulama Örnekleri / Sayfalar: 136-146
Senem YAZICI
A Study on Accessible Tourism Potentials of Göreme Open Air Museum / Sayfalar: 147-153
Anıl EVCİ, Candan ŞAHİN
Erzincan'da Kuru Fasulye Üretiminde Tespit Edilen Zararlı Türler / Sayfalar: 154-159
Engin KILIÇ, Serbay ÇELEBİ
Nesnelerin İnternetinde Kullanılan Kablosuz Algılayıcı Cihazlar için Bilgi Merkezli Ağ Mimarisinin Uygulanabilirliği Araştırması / Sayfalar: 160-171
Çiğdem ERİŞ, Pinar BOLUK
Mock-Cebyshev Noktalarında Vandermonde Matrisinin Bir Uygulaması: Kovid-19 Vaka Tahmini / Sayfalar: 172-180
B. Ali İBRAHİMOĞLU
Tarımsal Atıklardan Biyogaz Üretimi İçin Anaerobik Fermentör Tasarımında Etkili Etmenler / Sayfalar: 181-190
Gökhan TÜRKER
Bazı Yabani Meyve Türlerinin Antioksidan Kapasitesi, Toplam Fenolik Madde İçeriği ve Fenolik Asit Profiline Belirlenmesi / Sayfalar: 191-197
Büşra TÜYSÜZ, Özlem ÇAKIR, Enes DERTLİ

- Uslu (Elazığ G) Çevresindeki Volkanik Kayaçların (Yüksekova Karmaşığı) Jeokimyası / Sayfalar: 198-206
Melek URAL, Ayşe CİHAN
- Kuru tarımdan Sulu Tarıma Dönüşümün Toprakta Çeyrek Asırlık Etkisinin Mikromorfolojik Ölçekte Tanımlanması / Sayfalar: 207-215
Ahmet ÇELİK, Erhan AKÇA
- Hemşirelik Bölümündeki Öğrencilerin Aldıkları Beslenme Eğitiminin Sağlık Davranışları, Antropometrik Ölçümler ve Beslenme Alışkanlıkları Üzerine Etkisinin Değerlendirilmesi / Sayfalar: 216-222
Sabiha Zeynep Aydenk KÖSEOĞLU, Berrak ERGÜDEN, Kübra YILMAZ
- Comparison of Subgrade Reaction Coefficient Values Obtained With Different Approaches in Soil Investigations / Sayfalar: 223-229
Nuray ALPASLAN
- %100 Yenilenebilir Enerjiye Geçiş Yolunda Dünya ve Türkiye / Sayfalar: 230-240
Nazlıcan KARABAĞ, Cemre Belit ÇOBANOĞLU KAYIKCI, Atakan ÖNGEN
- Türk Mutfağında Bulunan Bazı Geleneksel Tatlı Türlerinin B Vitamini Kompozisyonlarının Belirlenmesi / Sayfalar: 241-246
Büşra YUSUFOĞLU, Kübra ÖZKAN, Karakuş EMİNE
- Otomotiv Sanayinde Hücresel Üretim Sisteminde Sac Parça Üretim Periyoduna Etki Eden Faktörler ve Üretim Zamanı Modellemesi / Sayfalar: 247-260
Yücel CAN
- Tedarik Zincirlerinde Tutumlu İnovasyonun Etkileri / Sayfalar: 261-267
Dilek ÖZDEMİR GÜNGÖR
- An Automated Bug Triaging Approach using Deep Learning: A Replication Study / Sayfalar: 268-274
Eray TÜZÜN, Emre DOĞAN, Alperen ÇETİN
- Deterjan bazlı çamaşır makinesi atık suyunun YDA ve EoL analizi ile değerlendirilmesi / Sayfalar: 275-284
Hakan ÇELEBİ, Tolga BAHADIR, İsmail ŞİMŞEK, Şevket TULUN
- Crust and Uppermost Mantle Velocity Structure beneath Eastern Anatolian Fault Zone from Joint Inversion of P-Receiver Functions and Rayleigh Wave Group Velocities / Sayfalar: 285-300
Hamdi ALKAN
- Evaluation of some toxic metal levels in urban treatment waters / Sayfalar: 301-306
Hacer Sibel KARAPINAR
- Onkoloji Hastalarında Tamamlayıcı ve Alternatif Tıp Kullanım Sıklığının ve Diyet Yaklaşımlarının Belirlenmesi / Sayfalar: 307-312
Hakan GÜVELİ, Ataberk UZSOY, Tuğçe ÖZLÜ, Emre KENGER, Can ERGÜN
- Yağlı Tohumlarda Ultrasonik-Destekli Ekstraksiyon Yöntemi ve Avantajları / Sayfalar: 313-322
Tuğba DEDEBAŞ, Tuğba DURSUN CAPAR, Lutfiye EKİCİ, Hasan YALÇIN
- TF-IDF ve Doc2Vec Tabanlı Türkçe Metin Sınıflandırma Sisteminin Başarım Değerinin Ardeşik Kelime Grubu Tespiti ile Arttırılması / Sayfalar: 323-332
Doğancan KINIK, Aysun GÜRAN
- Fermentasyonun Mantar Turşusunun Biyoaktivitesi ve Çeşitli Özelliklerine Etkisi / Sayfalar: 333-340
Bahar GÜL, Osman SAĞDIÇ, Kübra ÖZKAN
- Assessment of the Interaction Between Space And Visitor In the Case of the Cité De L'arcitecture Et Du Patrimoine / Sayfalar: 341-357
Gözde ALTIPARMAKOĞLU SAKARYA, Fehime Yeşim GÜRANİ
- Asmalarda Kuraklık ve Tuz Stresi / Sayfalar: 358-368
Zehra BABALİK, Nilgün GÖKTÜRK BAYDAR
- Bataryalı PV Sistemlerde Maksimum Güç Noktası Takip Yöntemlerinin Karşılaştırılması / Sayfalar: 369-377
Nihan ALTINTAŞ, Ahmet YILMAZ, Alpaslan DEMIRCI, Said Mirza TERCAN
- Farklı Kültürel Uygulamaların Yamula Patlıcanının Verim ve Bazı Kalite Özellikleri Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi / Sayfalar: 378-382
Emre TOSUN, Hasan PİNAR, Sule HASYUNCU
- Simulation of Pulse Height Distribution and Full Energy Peak Efficiency of 2"x2" Scintillation Detectors / Sayfalar: 383-388
Zehra Nur KULUÖZTÜRK, Nilgün DEMİR
- AMPK'nın Doğal Aktivatörleri ve Hastalıklarla İlişkisi / Sayfalar: 389-401
Sena Nur TANYILDIZ, Hatice YILDIRIM, Halime UĞUR, Mustafa YAMAN
- Quadrature Spatial Pulse Amplitude Modulation and Generalized Versions for VLC / Sayfalar: 402-409
Yasin ÇELİK
- Effect of Machining on the Surface Roughness of 31CrMoV9 and 34CrAlMo5 Steels After Nitriding / Sayfalar: 410-415
Egemen ŞAHİNOĞULLARI, Hüseyin Murat LUŞ

- İngiltere’de Yeşil Altyapı Planlama Ve Uygulama Sürecinin Uygulama Örnekleri Üzerinden İrdelenmesi /
Sayfalar: 416-423
Aysun TUNA
- Helix Surfaces in Euclidean 3-Space with Density / Sayfalar: 424-427
Ahmet KAZAN, Sema KAZAN
- Özellik seçimi ve Derin Öğrenmeye Dayalı Parkinson Hastalığı Tespiti / Sayfalar: 428-436
Mehmet Bilal ER
- Farklı Lokasyonlarda Yetiştirilen Kirazların (Prunus avium) Bazı Fizikokimyasal Özellikleri ve Aroma
Bileşenlerinin Belirlenmesi / Sayfalar: 437-443
Özden İLHAN, Nevzat ARTIK
- Comparison of Statistical and Machine Learning Algorithms for Forecasting Daily Bitcoin Returns / Sayfalar:
444-454
Betül AYGUN, Eylül KABAKCI GUNAY
- Synthesis of Some New Benzoxazole Derivatives and Antimicrobial and Cytotoxic Activity Studies / Sayfalar:
455-462
Meryem EROL, İsmail ÇELİK, Gülcan KUYUCUKLU, Ebru UZUNHİSARCIKLI
- Maksimum Güç Noktası İzleyici Algoritmalarının Verim, Salınım Miktarı ve Yakınsama Süresi Açısından
Karşılaştırılması / Sayfalar: 463-472
Ufuk BADAĞ, Ali Bekir YILDIZ
- Towards Adoption of Blockchain Technology for Enhancing Communication in Smart Transportation / Sayfalar:
473-485
Büşra ÖZDENİZCİ KÖSE
- Synthesis of Benzothiazole Bearing Calixarene as a Chemical Sensor with Triggered Fluorescence Property for
Chlorite Ion / Sayfalar: 486-492
Selahattin BOZKURT, Erkan HALAY
- 100 Basamak Probleminin JADE Algoritması ile Çözülmesi / Sayfalar: 493-500
Gurcan YAVUZ
- Effects of post-harvest drying times of Lavandula angustifolia and L. intermedia species on chemical
components of their essential oils / Sayfalar: 501-505
Çiğdem KUŞ, Mehmet Emin DURU
- Sıcak-Dövme Döküm Malzemelerin Performans Özelliklerini İyileştirmeye Yönelik Kaplama Koşullarının
Karşılaştırılması / Sayfalar: 506-517
Adife Şeyda YARGIÇ, Bünyamin EREN, Nurgül ÖZBAY
- Metin Madenciliği ile Tıbbi Tedavi Alanlarının Yakınlıklarının Ölçülmesi / Sayfalar: 518-526
Hasan KURBAN
- Polen Taşıyan Bal Arılarının MobileNetV2 Mimarisi ile Sınıflandırılması / Sayfalar: 527-533
Yusuf Yargı BAYDİLLİ
- Eterlerde Ozmotik Dehidrasyon Uygulamaları / Sayfalar: 534-542
Aybike KAMİLOĞLU, Naciye KUTLU KANTAR, Tuğba ELBİR
- Yabancı Otların Farklı Kişniş (Coriandrum sativum L.) Çeşitlerinde Verim ve Verim Unsurlarına Etkisi /
Sayfalar: 543-548
Muhammed İSMAİLOĞLU, Reyhan YERGİN ÖZKAN
- Doğru Akım Motorunun PID ile Hız Kontrolü ve Zorlamalı Yükler Altında Performans Analizi / Sayfalar: 549-
554
Barış GÖKÇE, Yavuz Bahadır KOCA, Yılmaz ASLAN
- İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisleri için Mikro Hidroelektrik Santrali ve LED Aydınlatma Uygulanabilirliği
ile Enerji Verimliliği: Gaziantep Örneği / Sayfalar: 555-560
Mustafa Mikail ÖZÇİLOĞLU, Bayram DURMUŞ
- Evaluating Eco-Cities With A Sustainable Perspective In Human-Nature Interaction / Sayfalar: 561-567
Özlem Candan HERGÜL, Parisa GÖKER
- Isolation Entomopathogenic fungi From The Two-Spotted Spider Mite (Teranychus urticae) at Erzincan
Province / Sayfalar: 568-571
Engin KILIÇ
- Isıl Gerilmelerin MEMS Fabry-Perot Optik Basınç Sensörünün Performansına Etkilerinin Araştırılması /
Sayfalar: 572-580
Fikret YILDIZ
- Total Phenolic Contents, Antioxidant Activities and Antioxidant Capacities of Some Selected Pepper (Capsicum
Annum L.) Pulps and Seeds / Sayfalar: 581-586
Hasan YALÇIN, Hatice KAVUNCUOĞLU, Tuğba DURSUN CAPAR
- Tarihsel Depremler ve Kullanılan Yöntemler / Sayfalar: 587-590

- Mehveş Feyza AKKOYUNLU
Türk İmalat Sanayinin Endüstri 4.0'a Geçiş Sürecini Olumsuz Etkileyen Faktörlerin Kalite Evi ve Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ile Analizi / Sayfalar: 591-599
Mehmet Ali ILGIN, Buket URKAN, Esra KURTUL
6-Benzilaminopürin ve Thidiazuron'un Bazı Yonca Çeşitlerinde İn Vitro Sürgün Rejenerasyonuna Etkisi / Sayfalar: 600-603
Nilgün EKİNCİ, Satı UZUN
8620 Kalite Çeliklerin Koroziyon Aşınma Direncine Bor İlavesinin Etkisi / Sayfalar: 604-609
Engin ÇEVİK, Ferhat SARIÇAM, Yavuz SUN, Cemal ÇARBOĞA, Bünyamin ÇİÇEK
A comparison of various supervised machine learning techniques for prostate cancer prediction / Sayfalar: 610-620
Ebru ERDEM, Ferhat BOZKURT
Konutlardaki Mutfak Yangınları Üzerine Bir Değerlendirme / Sayfalar: 621-628
Zehra YILDIZ
Fosfat Kaplama İşleminde Aktivasyon Parametreleri ve Kaplama Süresinin Kaplama Kalitesine Etkisi / Sayfalar: 629-634
Elif YAMAN, Semih ULUBAYRAK, Nurgül ÖZBAY
İzmir İlinde Elektrikli Kara Araçları için Güneş Enerjisi Destekli Bir şarj İstasyonunun Tasarlanması / Sayfalar: 635-648
Atahan ÇOBANOĞLU, Gökhan DEMİRKIRAN, Mustafa GÜNEş
2-(3-Fenil-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on-4-il)-azometin benzoik asit Molekülünün Deneysel ve Kuantum Kimyasal Hesaplamaları / Sayfalar: 649-659
Gül KOTAN, Haydar YÜKSEK
A new rhodamine-based colorimetric and fluorescence chemosensor for the real-time determination of Hg²⁺ in aqueous media / Sayfalar: 660-664
şükriye Nihan KARUK ELMAS
Graphene Aerogel Based Nanogenerators for Health Monitoring / Sayfalar: 665-668
Onur ERGEN
Asidik Ortamda Korozyon İnhibitörü Görevi Üstlenen Üç Pozitif Azot Atomu İçeren Tri-Katyonik Yüzey Aktif Maddelerin Sentezi / Sayfalar: 669-679
Serkan ÖZTÜRK, Melek Meltem ÖZKAZANLI, İlayda AKYILDIZ, Tuğçe KARA, Fatih ÇELİK
Big Data Companies and Open Source Movement / Sayfalar: 680-689
Necmi GÜRSAKAL, Sevda GÜRSAKAL, Sadullah ÇELİK
Separation of Incoming E-Mails Through Artificial Intelligence Techniques / Sayfalar: 690-696
Mete YAĞANOĞLU, Erdal IRMAK
Cultivation Planning Across Europe using Machine Learning Techniques / Sayfalar: 697-707
Kubilay DEMİR



Eti Gümüş Maden İşletmeleri Atık Barajlarındaki Gümüşün Geri Kazanımına Asit Liçinin Etkisi

Selçuk Yaman¹, Rukiye Saygılı Canlıdınç^{1*}, Ferda Özmal², Yunus Erdoğan¹

^{1*} Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Kütahya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-5309-5264, 0000-0002-3942-3196, 0000-0002-0383-0793), selcuk-yaman43@hotmail.com, rukiye.saygili@dpu.edu.tr, yunus.erdogan@dpu.edu.tr

² Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyokimya Bölümü, Kütahya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8393-5279), ferda.ozmal@dpu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 10 Ağustos 2020 ve Kabul Tarihi 7 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.778840)

ATIF/REFERENCE: Yaman, S., Saygılı Canlıdınç, R., Özmal, F. & Erdoğan, Y. (2021). Eti Gümüş Maden İşletmeleri Atık Barajlarındaki Gümüşün Geri Kazanımına Asit Liçinin Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 1-16.

Öz

Günümüzde gümüş üretimi geleneksel olarak siyanür yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Üretime alınan gümüş cevheri, siyanür liçinden sonra katı atık barajlarına gönderilmektedir. Barajlardaki bu atıkların gümüş tenörünün oldukça yüksek olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada, atık barajlarındaki yüksek tenörlü gümüşün geri kazanılmasında asit liçi yapılarak verimin artırılması hedeflenmiştir. Eti Gümüş Maden İşletmeleri'ne (Kütahya) ait gümüş cevheri atık barajlarından temsili olarak alınan harmanlanmış numuneler çeneli kırıcıda öğütülmüş, tane boyutu analizi yapılmış ve ardından yapılan ön denemelerle sülfirik asit liçi uygun görülmüş ve farklı konsantrasyonlardaki sülfirik asit (H₂SO₄) çözeltileri ile 25 °C ve 100 °C'de ön aktivasyon liçine tabi tutulmuştur. Bu ön aktivasyon işleminden sonraki aşamada sodyum siyanür (NaCN) kullanılacağı için hazırlanan liçin pH'ı kireç ile 10,50-12,00 aralığına ayarlanmış ve daha sonra NaCN liçi uygulanmıştır. NaCN liçi sonrası atomik absorpsiyon spektrometresi (AAS) ile gümüş tayini yapılarak, atıklardan gümüşün % geri kazanım miktarları hesaplanmıştır. Ayrıca H₂SO₄ ön aktivasyon işleminin, numunelerdeki diğer metalleri uzaklaştırma etkisini görmek için numunelerin önce ham halde daha sonra H₂SO₄ ve NaCN liçi sonrası kurutulan katılarından induktif eşleşmiş plazma-optik emisyon spektrometresi (ICP-OES) ile metal tayinleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarından H₂SO₄'in metal kirliliğini büyük oranda uzaklaştırdığı tespit edilmiştir. H₂SO₄ çözeltilerinin konsantrasyonu arttıkça metal kirliliklerinden uzaklaşan numunelerin, siyanür liçi sonucunda gümüş kazanım veriminde de %17,6'dan %31,7'ye artış sağlandığı görülmüştür. H₂SO₄ liçinde sıcaklığın artırılmasının geri kazanım verimine etkisi olmadığı, bu artışın sadece H₂SO₄ miktarındaki artış ile orantılı olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Gümüşün geri kazanımı, Sodyum siyanür, Sülfirik asit liçi, Atomik absorpsiyon spektrometresi.

The Effect of Acid Leaching on the Recovery of Silver from the Waste Dams of Eti Silver Mining Companies

Abstract

Recently, the silver is traditionally produced with cyanide method. The silver ore taken into production process is sent to solid waste dams after the cyanide leaching. It is known that the silver grade of these wastes is quite high. In this study, it is aimed to increase the silver recovery efficiency from high grade silver in waste dams by making acid leaching. Blended samples taken from the silver ore waste dams belonging to Eti Silver Mining Company (Kütahya) were ground in a crusher, grain size analysis was performed and then sulfuric acid leaching process has been found suitable with the preliminary experiments and pre-activation leaching with different concentrations of sulfuric acid (H₂SO₄) at 25 °C and 100 °C were applied. Since sodium cyanide (NaCN) will be used in the next stage after this pre-activation process, the pH of the prepared leach solution has been adjusted to the range of 10.50-12.00 range with lime and then NaCN leaching has been carry out. Silver analysis was performed with atomic absorption spectrometry (AAS) at the end of the leaching process and the recovery percent of silver from wastes was calculated. In addition, in order to see the effect of H₂SO₄ pre-activation process in removing other metals in the samples, metal analyzes were performed with inductively coupled plasma-optic emission spectrometry (ICP-OES) from the solids of the samples in the raw form and then dried samples after leaching with H₂SO₄ and NaCN. From the results of the analysis, it has been determined that H₂SO₄ significantly removed the metal pollution. As the concentration of H₂SO₄ increased, the samples that were removed away from metal impurities showed higher silver recovery yields. As a result of cyanide leaching, it was seen that the yield of silver recovery was increased from 17.6% to 31.7%. It was concluded that increasing the temperature in H₂SO₄ leaching had no effect on the recovery efficiency and this increase was related to the increase only in the amount of H₂SO₄.

Keywords: Recovery of silver, Sodium cyanide, Sulfuric acid leaching, Atomic absorption spectrometry.

* Sorumlu Yazar: rukiye.saygili@dpu.edu.tr

1. Giriş

Gümüş; yüksek erime noktasına sahip, asite karşı dirençli, elektriksel iletkenliği yüksek, alaşım yapabilme özelliği olan, yumuşak ve X-ışınlarına dayanıklı bir element olması sebebiyle elektronik endüstrisinde yer alan önemli metallere biridir (Castro ve ark., 2015; Tao ve ark., 2012; Wang ve ark., 2015; Li ve ark., 2017). Bunun dışında gümüşün radyografi ve fotoğrafçılık alanları ile dezenfektan olarak atıksu iyileştirmede ve değerli takı, süs eşyaları yapımında kullanımı diğer bilinen tüketim alanlarıdır (Butterman and Hilliard 2005; de Freitas ve ark., 2018, Feritias ve ark., 2019, Ali ve ark., 2019, Dao Ho ve ark., 2020). Gümüş diğer metaller ile karşılaştırıldığında, en yüksek ısı ve elektriksel iletkenliğe sahip olan ve yansıtıcı olarak da kullanılan metaldir. Bu özellikleri sayesinde; camların yansıtıcı olarak kullanılması için kaplanmasında, elektriksel iletimin sağlanması için elektrik şartlarında ve birçok kimyasal reaksiyonda katalizör görevinde kullanımı gibi sayısız birçok kullanım alanı bulunmaktadır (Gabriela ve ark., 2012). Gümüş; altın, çinko, bakır, kurşun üretimi sırasında yan ürün olarak ya da doğrudan cevherlerden elde edilir (Feritias ve ark., 2019, Huerta-Rosas ve ark., 2020, Qin ve ark., 2020). Ancak önümüzdeki yıllarda dünyanın gümüş talebinin, cevher yataklarındaki tahmini gümüş miktarını aşacağı düşünülmektedir (Yang ve ark., 2017, Chuang ve ark., 2016). Bu nedenle gümüş üretimi esnasında oluşan atıklardan gümüşün pirometalurjik ve hidrometalurjik yöntemlerle geri kazanımı büyük önem arz etmektedir (Quinet ve ark., 2005).

Günümüzde gümüş üretimi geleneksel olarak, basit ve ucuz bir yöntem olan siyanürleme ile gerçekleştirilmektedir (İbrahim ve ark., 2014, Zhang ve ark., 2020, Das ve ark., 2020). Ülkemizin ilk ve tek gümüş üreticisi olan Eti Gümüş A.Ş. (Kütahya) tesislerinde de bu yöntem uygulanmakta ancak düşük verimler ile üretim yapılabilmektedir. Tesisin tüvenan cevher üretim kapasitesi yıllık 12 milyon tondur ve aylık 24 ton %99,99 saflıkta granül gümüş üretimi gerçekleştirilmektedir. Üretime alınan cevherin, siyanür liçinden sonra kalan katı atığı, atık barajlarına gönderilmektedir. Barajlardaki atığın gümüş tenörü yaklaşık 90-100 g/t dur (Yaman, 2019). Yüksek tenörlü gümüşün geri kazanım veriminin artırılması için asit liçi uygulanması ya da daha küçük tane boyutlarında çalışılması gerekmektedir (Celep ve ark., 2019). Bu çalışmada, atık barajlarından alınan harmanlanmış numune, ön asit liçine tabi tutularak numunenin metal kirliliklerinin uzaklaştırılması sağlandıktan sonra siyanür liçi ile gümüşün geri kazanımı araştırılmıştır. Asit liçi ya da daha küçük tane boyutunun atık barajında verimlilik için etkili olma nedeni, tüvenan cevherdeki gümüşün yaklaşık %30'unun silis minareli içerisine hapsolmuş durumda olmasıdır ve bu işlemler sayesinde, silis mineralinin kaplanmış olduğu gümüş, siyanür ile temas edebilir hale getirilmektedir. Gümüşün metalik hale getirilmesi işlemi olan Merrill-Crowe prosesinde kullanılan metalik çinko atık barajında çinko oksit formunda bulunur. Eti Gümüş A.Ş işletmesinde metalik çinko, sıvıdaki gümüş değerinin beş katı kadar kullanılmaktadır. Atık barajında bulunan çinko oksit ortamdan uzaklaştırılmadığı takdirde Merrill-Crowe prosesinin son aşamasında gerçekleştirilen Zn-Ag yer değiştirme tepkimesini engellemektedir. Bundan dolayı ortamdaki çinko-oksit ve diğer metal-oksit formları sülfürik asit ön aktivasyon liçi ile uzaklaştırılarak verimliliğin artırılması amaçlanmıştır. Yapılan denemelerde ortamda bulunan istenmeyen metal formların uzaklaştırıldığı ICP-OES sonuçları ile gözlemlenmiştir. H₂SO₄ konsantrasyonu arttıkça metal

kirliliklerinden uzaklaşan numunenin siyanür liçi sonucunda % veriminin de arttığı deneysel olarak yapılan çalışmalarda görülmüştür.

2. Materyal ve Metot

2.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzemeler ve Cihazlar

Deneysel kısımda, ilk olarak Eti Gümüş Maden İşletmeleri'ne (Kütahya) ait gümüş cevheri atık barajlarından temsili olarak harmanlanmış numuneler alınmıştır. Numunenin tane boyutu analizi Malvern Mastersizer 2000 MU cihazı ile yapılmıştır. Deneysel (H₂SO₄, %95-97 Merck), kireç, sodyum siyanür (NaCN, Merck), hidroklorik asit (HCl, Merck), nitrik asit (HNO₃, Merck), perklorik asit (HClO₄, Merck), hidroflorik asit (HF, Merck) ve gümüş nitrat (AgNO₃, Merck) kullanılmıştır. Numunelerin metal tayinleri Atomik Absorpsiyon Spektrometresi (AAS, Varian-FS240) ve İndüktif Eşleşmiş Plazma/Optik Emisyon Spektrometresi (ICP-OES, AnalyticJena) cihazları ile yapılmıştır. Deney sırasında kullanılacak olan cam malzemelerin tamamı ve karıştırıcı balıklar kral suyu ile temizlenmiş ve 18 MΩ'luk analitik saflıkta olan saf su ile yıkandıktan sonra etüvde kurutulmuştur.

2.2. Numune Hazırlama

Eti Gümüş A. Ş'ye (Kütahya) gümüş cevheri atık barajlarından temsili olarak harmanlanmış numuneler çeneli kırıcıda 4,75 mm'nin altına kadar kırılmıştır. Numuneler harmanlama ve örnek bölücüyle 1'er kg'a ayrılarak paketlenmiştir. Öğütme işlemi, laboratuvar ölçekli çubuklu değirmende yapılmıştır. Laboratuvar tipli değirmenin şarj oranı %27, iç çapı 19,5 cm ve iç uzunluğu 30 cm silindirik çubuklu değirmende "yaş öğütme" yapılmıştır. Öğütme işleminde 1 kg örnek, %50 katı oranı ile 76 dev/dk dönme hızı olacak şekilde ayarlanıp tane boyutu (d80) 75 µm boyutuna öğütülmüştür.

H₂SO₄ ve NaCN liçi deneylerinde kullanılacak harman cevher, ince öğütme amacıyla laboratuvar ölçekli karıştırılmalı değirmende öğütülmüştür. Öğütücü ortam olarak alüminyum oksit esaslı zirkon ile güçlendirilmiş mikro bilye (DMM AZ 2000®) kullanılmıştır. Numune, 30 dk ince öğütülmüş ve öğütme esnasında belirlenen sürelerde pulptan örnek numune alınarak Malvern Mastersizer 2000 MU cihazıyla boyutları ölçülmüştür. Tane boyut analizleri 4 tekrarın ortalaması alınarak yapılmıştır. Yapılan ölçümlerin sonucunda ise deneylerde kullanılacak cevherin tane boyutu (d80) 75 µm olarak belirlenmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Laboratuvar Ölçekli Geri Kazanım Deney Sonuçları

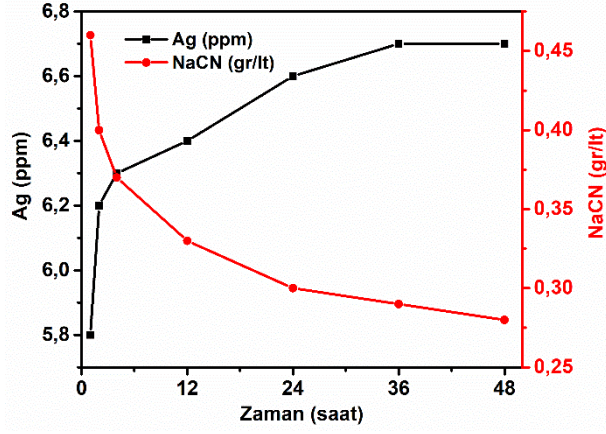
Bu çalışma kapsamında harman cevherin ve siyanür liçine tabii tutulan cevherin parametreleri aşağıdaki Tablo 3.1'de gösterilmiştir. Zamana bağlı olarak Ag (ppm) ve NaCN (gr/lt) sonuçları Şekil 3.1 ve 3.2'de gösterilmiştir. H₂SO₄ ön aktivasyon liç işlemine 500 gr katı ile başlanmış sonrasında süzülen katı yıkanmış ve kurutulmuştur. Homojen numune ayırımını sağlamak için 4'leme metodu kullanılmıştır. 4'leme metodu numunenin 4 eşit parçaya ayrıldığı karşılıklı çapraz iki bölümünün alınarak tekrar istenilen numune miktarına getirilene kadar bu işlemin devam ettirilmesidir. Bu işlemlerden sonra numune içerisinden 350 gr katı alınarak NaCN liç işlemi

gerçekleştirilmiştir. Arta kalan yaklaşık 150 gr numune elementel analiz için ayrılmıştır. Oda sıcaklığında pH ın 10,50-12,00 arasında tutulduğu deney şartları oluşturulmuştur. 0,2 M H₂SO₄ asit ön aktivasyon liçi ile sıvıya geçen ve katıda kalan Ag (ppm) değerlerinde değişiklik olduğu görülmektedir. NaCN liçi sonu katı 4'lü asit çözündürülmesi (HNO₃; HCl; HClO₄; HF karışımı) yapılarak katıda kalan Ag değeri AAS cihazı ile okunmuş ve % verim hesabı yapılmıştır. Hiçbir ön aktivasyon

asit liçi işlemi yapılmadan sadece NaCN liçi yapıldığında verimliliğin Tablo 3.1.'de %17,6 olduğu görülmektedir. Tablo 3.2 ve 3.3'de, 0,2 M H₂SO₄ ön aktivasyonu işlemlerinin 25 °C ve 100 °C'de siyanür liçinden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış, uygulanan 25 °C'de 0,2 M'lık H₂SO₄ ön aktivasyonunun siyanür liçi sonrası sıvıya geçen Ag miktarı %17,6'dan %24,7'ye bir artış göstermiştir.

Tablo 3.1. 1,2,3,4. Atık Barajından Alınan Harman Cevher Orijinal Numunesinin NaCN Liçi Parametreleri

Deney Kodu	Baraj Atığı Harmanlanmış Cevher Orijinal Numune		Tane Boyutu	74µ		
Liç Sırası	-		Katı Oranı, %	32		
Numunenin Cinsi	1.,2.,3.,4., Atık Barajından Alınan Harman Cevher		NaCN Konsantrasyonu	0.5 g/L		
Katı Numune Miktarı (g)	350		pH Değeri	10,50-11,50		
Sıvı Hacmi (mL)	744		Liç Süresi	48 Saat		
Numunenin Tenörü (g/ton)	91		O ₂ Miktarı	~5,8 mg/L		
DENEY AŞAMASI						
Deney Saati	O ₂ (mg/L)	pH	Serbest NaCN (g/L)	Sıvıda Çözünen Ag (mg/L)	Katıda Kalan Ag Miktarı (g/t)	İlaveler
0	5,8	10,90	0,50	0	91	
1	5,7	11,39	0,46	5,8±0,2		
2	5,9	11,24	0,40	6,2±0,3		
4	5,8	11,12	0,37	6,3±0,4		
12	5,9	10,86	0,33	6,4±0,2		
24	5,7	10,62	0,30	6,6±0,3		Kireç ilavesi
36	5,8	11,10	0,29	6,7±0,2		
48	5,8	10,91	0,28	6,7±0,3		
NaCN liç sonu atık katı					75±0,3	
NaCN liç sonu % verim					17,6	



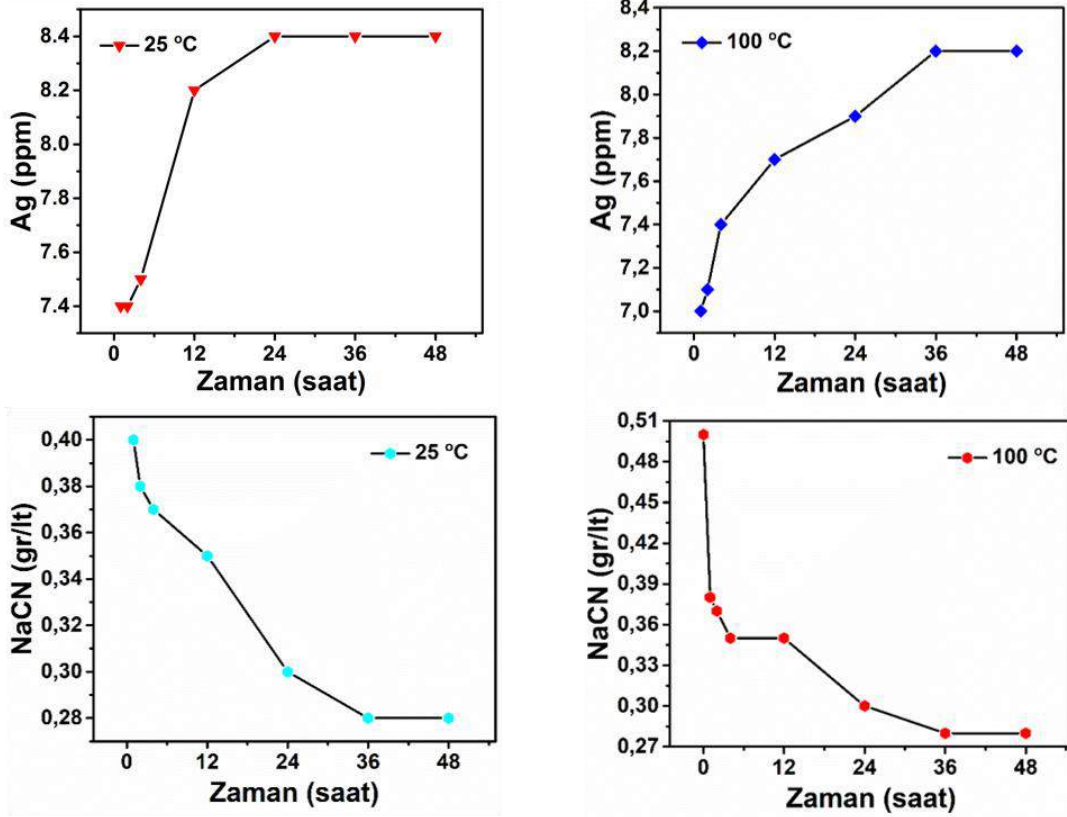
Şekil 3.1. 1,2,3,4. Baraj atığı harmanlanmış orijinal numunesinin NaCN liçi analiz sonuçları.

Tablo 3.2. 25 °C'de 0.2 M H₂SO₄ (A1) Ön Aktivasyon İşlemi Sonrası NaCN Liçi Parametre ve Sonuçları

Deney Kodu	25 °C'de 0,2 M H ₂ SO ₄ Liçi Sonrası Katsısı (A1)		Tane Boyutu	74µ		
Liç Sırası	1		Katı Oranı, %	32		
Numunenin Cinsi	1.,2.,3.,4., Atık Barajından Alınan Harman Cevher		NaCN Konsantrasyonu	0.5 g/L (0.372 g NaCN ilave)		
Katı Numune Miktarı (g)	350		pH Değeri	10,50-11,50		
Sıvı Hacmi (mL)	744		Liç Süresi	48 Saat		
Numunenin Tenörü (g/ton)	94,9±0,1		O ₂ Miktarı	~5,8 mg/L		
DENEY AŞAMASI						
Deney Saati	O ₂ (mg/L)	pH	Serbest NaCN (g/L)	Sıvıda Çözünen Ag (mg/L)	Katıda Kalan Ag Miktarı (g/t)	İlaveler
0	5,8	10,55	0,50	0		
1	5,7	10,90	0,40	7,4±0,3		
2	5,9	10,85	0,38	7,4±0,1		
4	5,8	10,75	0,37	7,5±0,4		
12	5,9	10,61	0,35	8,2±0,3		
24	5,7	10,25	0,30	8,4±0,1		
36	5,8	10,46	0,28	8,4±0,2		
48	5,8	10,30	0,28	8,4±0,5		
NaCN liç sonu atık katı					71,4±0,5	
NaCN liç sonu % verim					24,7	

Tablo 3.3. 100 °C'de 0,2 M H₂SO₄ (A2) Ön Aktivasyon İşlemi Sonrası NaCN Liçi Parametre ve Sonuçları

Deney Kodu	100 °C'de 0,2 M H ₂ SO ₄ Liçi Sonrası Katısı (A2)		Tane Boyutu	74µ		
Liç Sırası	2		Katı Oranı, %	32		
Numunenin Cinsi	1.,2.,3.,4., Atık Barajından Alınan Harman Cevher		NaCN Konsantrasyonu	0.5 g/L (0.372 g NaCN ilave)		
Katı Numune Miktarı (g)	350		pH Değeri	10,50-11,50		
Sıvı Hacmi (mL)	744		Liç Süresi	48 Saat		
Numunenin Tenörü (g/ton)	95,1±0,2		O ₂ Miktarı	~5,8 mg/L		
DENEY AŞAMASI						
Deney Saati	O ₂ (mg/L)	pH	Serbest NaCN (g/L)	Sıvıda Çözünen Ag (mg/L)	Katıda Kalan Ag Miktarı (g/t)	İlaveler
0	5,8	10,70	0,50	0		
1	5,7	11,10	0,38	7,0±0,2		
2	5,9	11,00	0,37	7,1±0,5		
4	5,8	10,85	0,35	7,1±0,4		
12	5,9	10,71	0,35	7,7±0,5		
24	5,7	10,40	0,30	7,9±0,6		
36	5,8	10,42	0,28	8,2±0,6		
48	5,8	10,32	0,28	8,2±0,3		
NaCN liç sonu atık katı			70,6±0,6			
NaCN liç sonu % verim			25,8			



Şekil 3.2. 25 °C ve 100 °C'de 0,2 M H₂SO₄ ön liçi sonrası atık katısı ile yapılan NaCN liçinin zamana bağlı NaCN sarfıyatı ve sıvıdaki gümüş miktarları.

Tablo 3.4.'de 25 °C'de 0,4 M H₂SO₄ 2 saat ön aktivasyon işlemi sonrası siyanür liçi deney sonuçları, Tablo 3.5.'de ise 100 °C'de 0,4 M H₂SO₄ 2 saat ön aktivasyonu sonrası siyanür liçi sonuçları ve parametreleri gösterilmiştir. Zamana bağlı olarak Ag (ppm) ve NaCN (gr/lt) sonuçları Şekil 3.3'de verilmiştir. 0,4 M H₂SO₄ asit ön aktivasyon liçi ile bir önceki çalışmaya göre sıvıya geçen ve katıda kalan Ag (ppm) değerlerinde değişiklik olduğu görülmektedir. NaCN liçi sonu

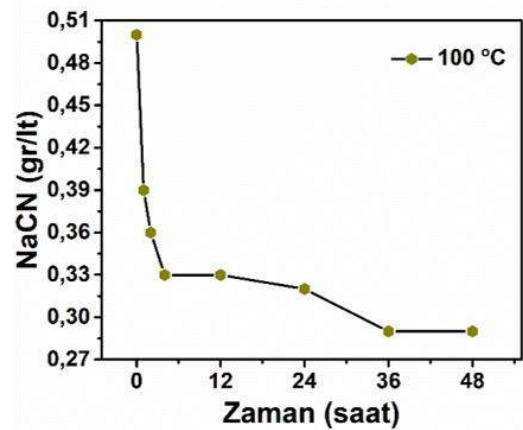
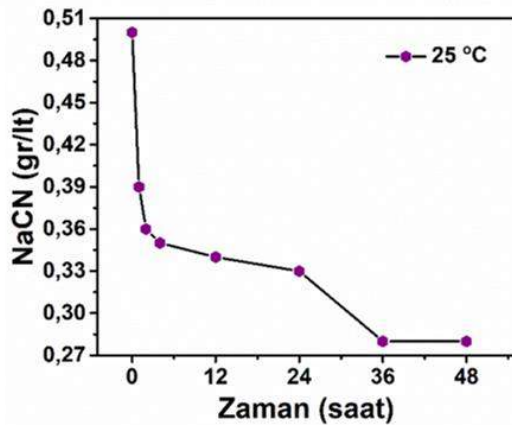
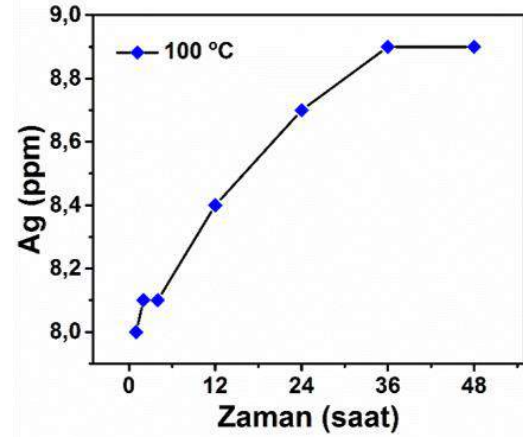
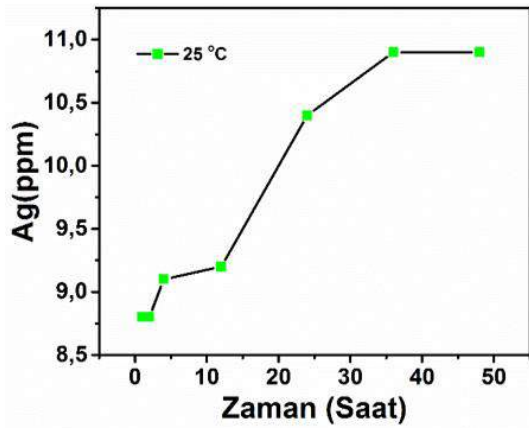
katıda kalan Ag değeri AAS cihazı ile okunmuş ve % verim hesabı yapılmıştır. Hiçbir ön aktivasyon asit liçi işlemi yapılmadan sadece NaCN liçi yapıldığında verimliliğin Tablo 3.1.'de %17,6 olduğu görülmektedir. Tablo 3.4.'de yapılan çalışma şartlarına göre % verim 27,5 ve Tablo 3.5.'de yapılan çalışma şartlarına göre % verim 27,8 oranına yükseldiği deneysel verilerle gösterilmiştir.

Tablo 3.4. 25 °C'de 0,4 M H₂SO₄ (B1) Ön Aktivasyon İşlemi Sonrası NaCN Liçi Parametre ve Sonuçları

Deney Kodu	25 °C'de 0,4 M H ₂ SO ₄ Liçi Sonrası Katsı (B1)		Tane Boyutu	74µ		
Liç Sırası	1		Katı Oranı, %	32		
Numunenin Cinsi	1.,2.,3.,4., Atık Barajından Alınan Harman Cevher		NaCN Konsantrasyonu	0.5 g/L (0.372 g NaCN ilave)		
Katı Numune Miktarı (g)	350		pH Değeri	10,50-11,50		
Sıvı Hacmi (mL)	744		Liç Süresi	48 Saat		
Numunenin Tenörü (g/ton)	95,7±0,3		O ₂ Miktarı	~5,8 mg/L		
DENEY AŞAMASI						
Deney Saati	O ₂ (mg/L)	pH	Serbest NaCN (g/L)	Sıvıda Çözünen Ag (mg/L)	Katıda Kalan Ag Miktarı (g/t)	İlaveler
0	5,8	10,60	0,50	0		
1	5,7	10,80	0,40	8,8±0,4		
2	5,9	10,73	0,38	8,8±0,5		
4	5,8	10,65	0,37	9,1±0,3		
12	5,9	10,41	0,35	9,2±0,3		
24	5,7	10,31	0,30	10,4±0,5		
36	5,8	10,16	0,28	10,9±0,3		
48	5,8	10,07	0,28	10,9±0,2		
NaCN liç sonu atık katı					69,4±0,8	
NaCN liç sonu % verim					27,5	

Tablo 3.5. 100 °C'de 0,4 M H₂SO₄ (B2) Ön Aktivasyon İşlemi Sonrası NaCN Liçi Parametre ve Sonuçları

Deney Kodu	100 °C'de 0,4 M H₂SO₄ Liçi Sonrası Katısı (B2)		Tane Boyutu	74µ		
Liç Sırası	2		Katı Oranı, %	32		
Numunenin Cinsi	1.,2.,3.,4., Atık Barajından Alınan Harman Cevher		NaCN Konsantrasyonu	0.5 g/L (0.372 g NaCN ilave)		
Katı Numune Miktarı (g)	350		pH Değeri	10,50-11,50		
Sıvı Hacmi (mL)	744		Liç Süresi	48 Saat		
Numunenin Tenörü (g/ton)	96±0,4		O₂ Miktarı	~5,8 mg/L		
DENEY AŞAMASI						
Deney Saati	O₂ (mg/L)	pH	Serbest NaCN (g/L)	Sıvıda Çözünen Ag (mg/L)	Katıda Kalan Ag Miktarı (g/t)	İlaveler
0	5,8	10,70	0,50	0		
1	5,7	11,00	0,39	8,0±0,4		
2	5,9	10,95	0,36	8,1±0,5		
4	5,8	10,90	0,33	8,1±0,5		
12	5,9	10,75	0,33	8,4±0,3		
24	5,7	10,56	0,32	8,7±0,2		
36	5,8	10,45	0,29	8,9±0,3		
48	5,8	10,39	0,29	8,9±0,3		
NaCN liç sonu atık katı					69,3±0,5	
NaCN liç sonu % verim					27,8	



Şekil 3.3. 25 °C ve 100 °C'de 0,4 M H₂SO₄ ön liçi sonrası atık katısı ile yapılan NaCN liçinin zamana bağlı NaCN sarfiyatı ve sıvıdaki gümüş miktarları.

Tablo 3.6.'de 25 °C'de 0,6 M H₂SO₄ ön aktivasyon işlemi sonrası siyanür liçi deney sonuçları, Tablo 3.7.'de ise 100 °C'de 0,6 M H₂SO₄ ön aktivasyonu sonrası siyanür liçi sonuçları ve parametreleri gösterilmiştir. Zamana bağlı olarak Ag (ppm) ve NaCN (gr/lit) sonuçları Şekil 3.4'de verilmiştir. Optimum deney koşullarında 0,2 M ve 0,4 M H₂SO₄ liçi ile 0,6 M H₂SO₄

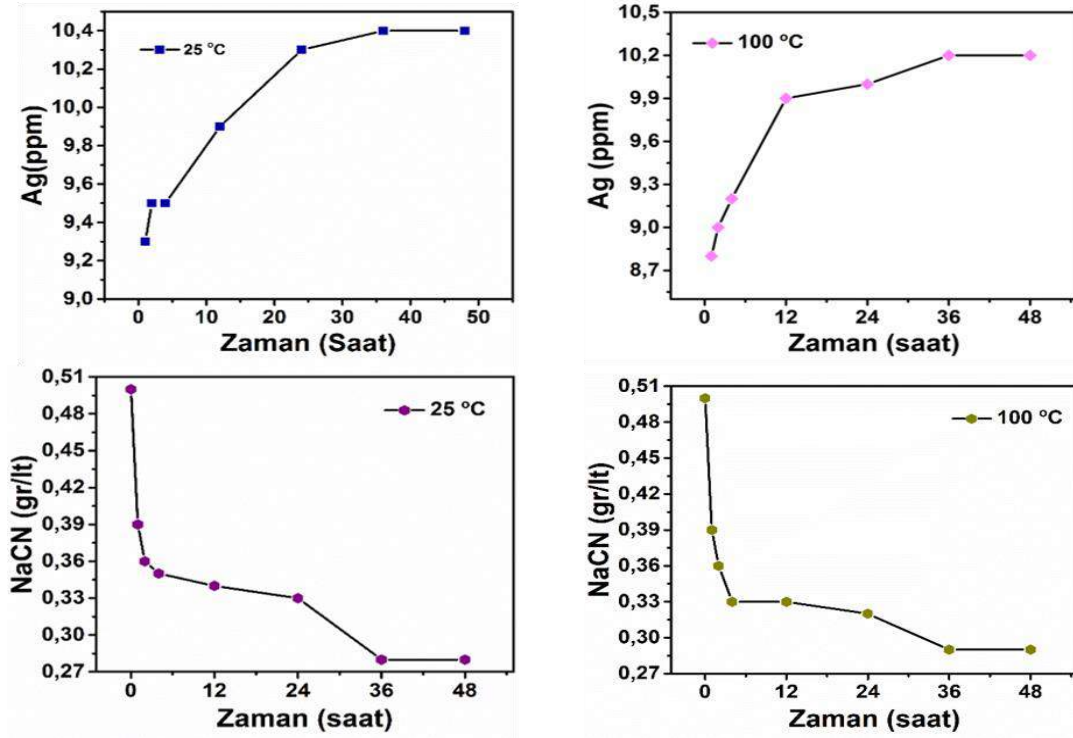
asit ön aktivasyon liçi sonrası Ag (ppm) değerleri kıyaslanmıştır. NaCN liçi sonu katıda kalan Ag değeri AAS cihazı ile okunmuş ve % verim hesabı yapılmıştır. Tablo 3.6.'da yapılan çalışma şartlarına göre % verim 28,7 ve Tablo 3.7.'de yapılan çalışma şartlarına göre % verim 28,8 olarak arttığı görülmüştür.

Tablo 3.6. 25 °C'de 0,6 M H₂SO₄ (C1) Ön Aktivasyon İşlemi Sonrası NaCN Liçi Parametre ve Sonuçları

Deney Kodu	25 °C'de 0,6 M H ₂ SO ₄ Liçi Sonrası Katsı (C1)			Tane Boyutu	74µ	
Liç Sırası	1			Katı Oranı, %	32	
Numunenin Cinsi	1.,2.,3.,4., Atık Barajından Alınan Harman Cevher			NaCN Konsantrasyonu	0,5 g/L (0,372 g NaCN ilave)	
Katı Numune Miktarı (g)	350			pH Değeri	10,50-11,50	
Sıvı Hacmi (mL)	744			Liç Süresi	48 Saat	
Numunenin Tenörü (g/ton)	96,6±0,6			O ₂ Miktarı	~5,8 mg/L	
DENEY AŞAMASI						
Deney Saati	O ₂ (mg/L)	pH	Serbest NaCN (g/L)	Sıvıda Çözünen Ag (mg/L)	Katıda Kalan Ag Miktarı (g/t)	İlaveler
0	5,9	10,53	0,5	0		
1	5,8	10,96	0,39	9,3±0,3		
2	5,7	10,87	0,36	9,5±0,1		
4	5,8	10,70	0,35	9,5±0,4		
12	5,8	10,58	0,34	9,9±0,3		
24	5,9	10,47	0,33	10,3±0,5		
36	5,7	10,41	0,28	10,4±0,5		
48	5,8	10,36	0,28	10,4±0,5		
NaCN liç sonu atık katı					68,9±0,3	
NaCN liç sonu % verim					28,7	

Tablo 3.7. 100 °C'de 0,6 M H₂SO₄ (C2) Ön Aktivasyon İşlemi Sonrası NaCN Liçi Parametre ve Sonuçları

Deneysel Kodu	100 °C'de 0,6 M H₂SO₄ Liçi Sonrası Katsı (C2)		Tane Boyutu	74µ		
Liç Sırası	2		Katı Oranı, %	32		
Numunenin Cinsi	1.,2.,3.,4., Atık Barajından Alınan Harman Cevher		NaCN Konsantrasyonu	0.5 g/L (0.372 g NaCN ilave)		
Katı Numune Miktarı (g)	350		pH Değeri	10,50-11,50		
Sıvı Hacmi (mL)	744		Liç Süresi	48 Saat		
Numunenin Tenörü (g/ton)	97,1±0,4		O₂ Miktarı	~5,8 mg/L		
DENEY AŞAMASI						
Deneysel Saati	O₂ (mg/L)	pH	Serbest NaCN (g/L)	Sıvıda Çözünen Ag (mg/L)	Katıda Kalan Ag Miktarı (g/t)	İlaveler
0	5,7	10,62	0,5	0		
1	5,7	10,85	0,39	8,8±0,3		
2	5,8	10,77	0,36	9±0,1		
4	5,9	10,66	0,33	9,2±0,4		
12	5,9	10,54	0,33	9,9±0,3		
24	5,8	10,46	0,32	10±0,5		
36	5,7	10,38	0,29	10,2±0,5		
48	5,8	10,36	0,29	10,2±0,5		
NaCN liç sonu atık katı					69,1±0,6	
NaCN liç sonu % verim					28,8	

Şekil 3.4. 25 °C ve 100 °C'de 0,6 M H₂SO₄ ön liçi sonrası atık katsı ile yapılan NaCN liçinin zamana bağlı NaCN sarfiyatı ve sıvıdaki gümüş miktarları.

Tablo 3.8.'de 25 °C'de 0,8 M H₂SO₄ ön aktivasyon işlemi sonrası siyanür liçi deney sonuçları, Tablo 3.9.'de ise 100 °C'de 0,8 M H₂SO₄ ön aktivasyonu sonrası siyanür liçi sonuçları ve parametreleri gösterilmiştir. Zamana bağlı olarak Ag (ppm) ve NaCN (gr/lt) sonuçları Şekil 3.5'de verilmiştir. Optimum

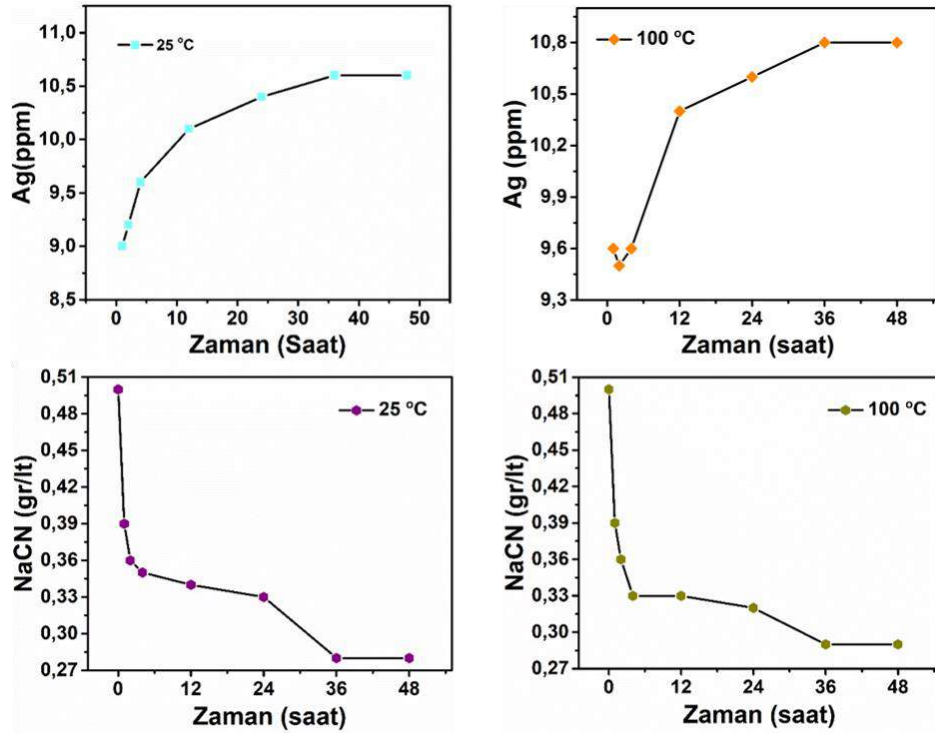
deney koşullarında 0,8 M H₂SO₄ asit ön aktivasyon liçi sonrası katıda kalan Ag miktarı AAS cihazı ile okunmuş ve % verim hesabı yapılmıştır. Tablo 3.8.'de yapılan çalışma şartlarına göre verim % 29,7 ve Tablo 3.9.'da yapılan çalışma şartlarına göre verim % 31,1 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.8. 25 °C'de 0,8 M H₂SO₄ (D1) Ön Aktivasyon İşlemi Sonrası NaCN Liçi Parametre ve Sonuçları

Deney Kodu	25 °C'de 0,8 M H₂SO₄ Liçi Sonrası Katsı (D1)			Tane Boyutu	74µ	
Liç Sırası	1			Katı Oranı, %	32	
Numunenin Cinsi	1.,2.,3.,4., Atık Barajından Alınan Harman Cevher			NaCN Konsantrasyonu	0.5 g/L (0.372 g NaCN ilave)	
Katı Numune Miktarı (g)	350			pH Değeri	10,50-11,50	
Sıvı Hacmi (mL)	744			Liç Süresi	48 Saat	
Numunenin Tenörü (g/ton)	97,7±0,4			O₂ Miktarı	~5,8 mg/L	
DENEY AŞAMASI						
Deney Saati	O₂ (mg/L)	pH	Serbest NaCN (g/L)	Sıvıda Çözünen Ag (mg/L)	Katıda Kalan Ag Miktarı (g/t)	İlaveler
0	5,9	10,54	0,5	0		
1	5,9	10,87	0,39	9±0,3		
2	5,9	10,74	0,36	9,2±0,1		
4	5,7	10,70	0,35	9,6±0,4		
12	5,8	10,59	0,34	10,1±0,3		
24	5,8	10,39	0,33	10,4±0,5		
36	5,8	10,34	0,28	10,6±0,5		
48	5,9	10,31	0,28	10,6±0,5		
NaCN liç sonu atık katı				68,7±0,3		
NaCN liç sonu % verim				29,7		

Tablo 3.9. 100 °C'de 0,8 M H₂SO₄ (D2) Ön Aktivasyon İşlemi Sonrası NaCN Liçi Parametre ve Sonuçları

Deney Kodu	100 °C'de 0,8 M H₂SO₄ Liçi Sonrası Katsı (D2)		Tane Boyutu	74µ		
Liç Sırası	2		Katı Oranı, %	32		
Numunenin Cinsi	1.,2.,3.,4., Atık Barajından Alınan Harman Cevher		NaCN Konsantrasyonu	0.5 g/L (0.372 g NaCN ilave)		
Katı Numune Miktarı (g)	350		pH Değeri	10,50-11,50		
Sıvı Hacmi (mL)	744		Liç Süresi	48 Saat		
Numunenin Tenörü (g/ton)	97,6±0,4		O₂ Miktarı	~5,8 mg/L		
DENEY AŞAMASI						
Deney Saati	O₂ (mg/L)	pH	Serbest NaCN (g/L)	Sıvıda Çözünen Ag (mg/L)	Katıda Kalan Ag Miktarı (g/t)	İLAVELER
0	5,8	10,59	0,5	0		
1	5,8	10,93	0,39	9,6±0,3		
2	5,8	10,88	0,36	9,5±0,1		
4	5,9	10,82	0,33	9,6±0,4		
12	5,7	10,71	0,33	10,4±0,3		
24	5,7	10,42	0,32	10,6±0,5		
36	5,9	10,51	0,29	10,8±0,5		
48	5,9	10,38	0,29	10,8±0,5		
NaCN liç sonu atık katı					67,2±0,2	
NaCN liç sonu % verim					31,1	



Şekil 3.5. 25 °C ve 100 °C'de 0,8 M H₂SO₄ ön liçi sonrası atık katsı ile yapılan NaCN liçinin zamana bağlı NaCN sarfiyatı ve sıvıdaki gümüş miktarları.

Tablo 3.10.'de 25 °C'de 1,1 M H₂SO₄ ön aktivasyon işlemi sonrası siyanür liçi deney sonuçları, Tablo 3.11.'de ise 100 °C'de 1,1 M H₂SO₄ ön aktivasyonu sonrası siyanür liçi sonuçları ve parametreleri gösterilmiştir. Zamana bağlı olarak Ag (ppm) ve NaCN (gr/lt) sonuçları Şekil 3.6'de verilmiştir. 1,1 M H₂SO₄ asit ön aktivasyon liçi ile bir önceki çalışmaya göre

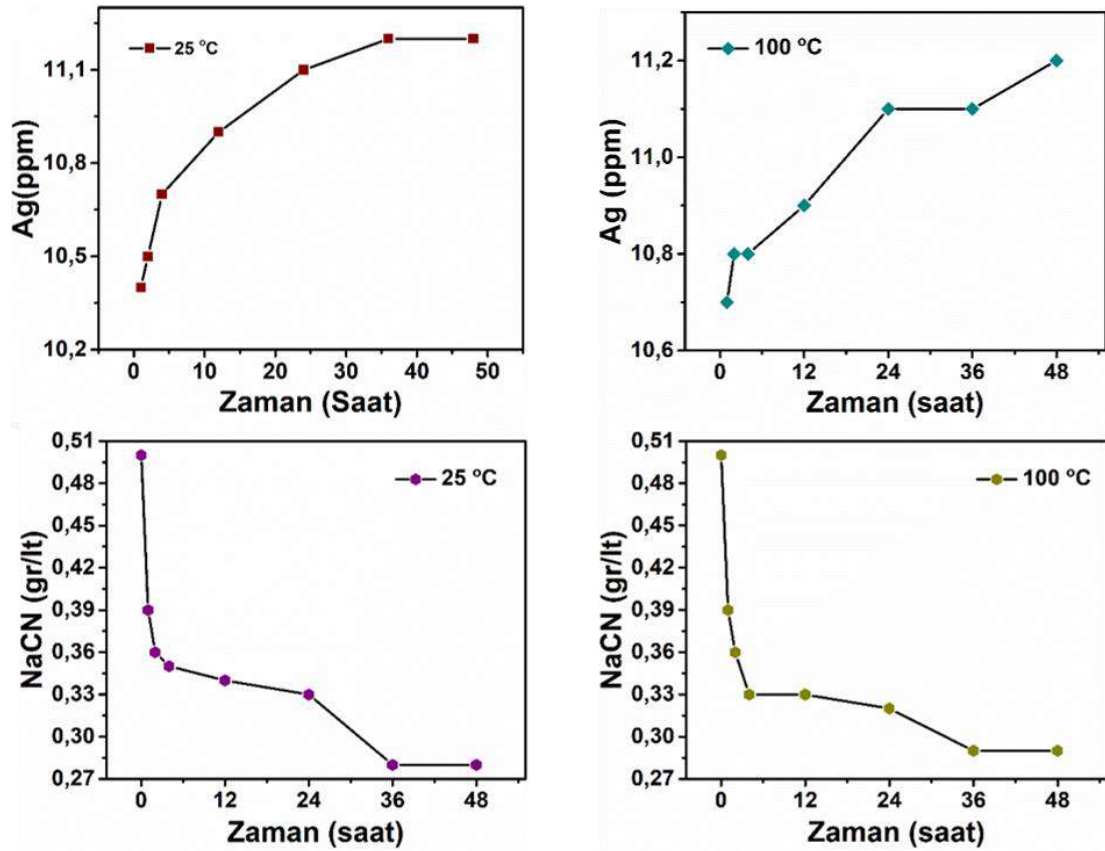
sıvıya geçen ve katıda kalan Ag (ppm) miktarında değişiklik olduğu görülmektedir. NaCN liçi sonu katıda kalan Ag miktarı AAS cihazı ile okunmuş ve Tablo 3.10.'de yapılan çalışma şartlarına göre verim % 31,5 ve Tablo 3.11.'de yapılan çalışma şartlarına göre verim % 31,7 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.10. 25 °C'de 1,1 M H₂SO₄ (E1) Ön Aktivasyon İşlemi Sonrası NaCN Liçi Parametre ve Sonuçları

Deney Kodu		25 °C'de 1,1 M H ₂ SO ₄ Liçi Sonrası Katsı (E1)		Tane Boyutu		74μ
Liç Sırası		1		Katu Oranı, %		32
Numunenin Cinsi		1.,2.,3.,4., Atık Barajından Alınan Harman Cevher		NaCN Konsantrasyonu		0.5 g/L (0.372 g NaCN ilave)
Katu Numune Miktarı (g)		350		pH Değeri		10,50-11,50
Sıvı Hacmi (mL)		744		Liç Süresi		48 Saat
Numunenin Tenörü (g/ton)		98±0,3		O ₂ Miktarı		~5,8 mg/L
DENEY AŞAMASI						
Deney Saati	O ₂ (mg/L)	pH	Serbest NaCN (g/L)	Sıvıda Çözünen Ag (mg/L)	Katıda Kalan Ag Miktarı (g/t)	İlaveler
0	5,9	10,60	0,5	0		
1	5,9	10,96	0,39	10,4±0,3		
2	5,9	10,78	0,36	10,5±0,1		
4	5,7	10,69	0,35	10,7±0,4		
12	5,8	10,64	0,34	10,9±0,3		
24	5,8	10,36	0,33	11,1±0,5		
36	5,7	10,33	0,28	11,2±0,5		
48	5,7	10,31	0,28	11,2±0,5		
NaCN liç sonu atık katı					67,1±0,5	
NaCN liç sonu % verim					31,5	

Tablo 3.11. 100 °C'de 1,1 M H₂SO₄ (E2) Ön Aktivasyon İşlemi Sonrası NaCN Liçi Parametre ve Sonuçları

Deney Kodu	100 °C'de 1,1 M H ₂ SO ₄ Liçi Sonrası Katsı (E2)		Tane Boyutu	74µ		
Liç Sırası	2		Katı Oranı, %	32		
Numunenin Cinsi	1.,2.,3.,4., Atık Barajından Alınan Harman Cevher		NaCN Konsantrasyonu	0.5 g/L (0.372 g NaCN ilave)		
Katı Numune Miktarı (g)	350		pH Değeri	10,50-11,50		
Sıvı Hacmi (mL)	744		Liç Süresi	48 Saat		
Numunenin Tenörü (g/ton)	97,8±0,4		O ₂ Miktarı	~5,8 mg/L		
DENEY AŞAMASI						
Deney Saati	O ₂ (mg/L)	pH	Serbest NaCN (g/L)	Sıvıda Çözünen Ag (mg/L)	Katıda Kalan Ag Miktarı (g/t)	İLAVELER
0	5,7	10,50	0,5	0		
1	5,7	10,93	0,39	10,7±0,3		
2	5,8	10,87	0,36	10,8±0,1		
4	5,8	10,67	0,33	10,8±0,4		
12	5,8	10,54	0,33	10,9±0,3		
24	5,8	10,27	0,32	11,1±0,1		
36	5,9	10,49	0,29	11,7±0,2		
48	5,9	10,52	0,29	11,7±0,3		
NaCN liç sonu atık katı					66,8±0,2	
NaCN liç sonu % verim					31,7	



Şekil 3.6. 25 °C ve 100 °C'de 1,1 M H₂SO₄ ön liçi sonrası atık katsı ile yapılan NaCN liçinin zamana bağlı NaCN sarfiyatı ve sıvıdaki gümüş miktarları.

Bu çalışmada kullanılan harman cevher çeneli kırıcıdan geçirildikten sonra halkalı öğütücüde öğütülüp analiz için hazır hale getirilmiş, 250 mg tartım olarak 4' lü asit çözündürmesi

yapılmış, metal içeriği ICP-OES cihazı ile yapılmıştır. Tablo 3.12'de ICP-OES analiz sonuçları görülmektedir.

Tablo 3.12. Harman Cevherin ICP-OES Sonuçları

No	Numune Adı	As (mg/L)	Cd (mg/L)	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Ni (mg/L)	Pb (mg/L)	Sb (mg/L)	Zn (mg/L)
1	1.,2.,3.,4., Atık Barajından Alınan Harman Cevher	11362	213	156	31741	5854	36	13662	6264	17404

%32 katı oranı olacak şekilde hazırlanan cevher, farklı konsantrasyonlarda ve sıcaklıklarda yapılan H₂SO₄ asit liçi sonrası elde edilen katı atık süzülerek etüvde 100 °C'de kurutulmuştur. Kurutulmuş numune halkalı öğütücüde öğütülerek yaklaşık tane boyutu 74 µ boyutuna getirilmiştir. Daha sonra öğütülmüş katı atıkların 4'lü asit çözündürmeleri sonucu ICP-OES analiz sonuçları Tablo 3.13'de gösterilmiştir. NaCN liçi sonrası ICP-OES analizi sonuçları da Tablo 3.14'de

verilmiştir. Sonuçlara bakıldığında H₂SO₄ miktarının artışıyla metal miktarlarında bir azalma söz konusudur. Bu azalma H₂SO₄ liçi sonucu metallerin sıvı faza geçmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Cevher içindeki NaCN ile tepkimeye girebilecek metallerin, SO₄ formunda sıvıya geçmesi NaCN sarfiyatını azalttığı ve ortamdaki NaCN'ün gümüş elementine yönelindiğini göstermektedir. Doğal olarak gümüş geri kazanma veriminde artış gözlenmiştir.

Tablo 3.13. H₂SO₄ Liçi Sonrası Atık Numune ICP-OES Sonuçları

No	Numune Adı	As (mg/L)	Cd (mg/L)	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Ni (mg/L)	Pb (mg/L)	Sb (mg/L)	Zn (mg/L)
1	A-1	5260	99	72	14695	2710	17	6325	2900	8058
2	A-2	5100	103	68	14033	2618	16	6215	2890	9695
3	B-1	4935	97	68	14313	2395	14	6108	2758	5393
4	B-2	5030	102	67	13900	2233	16	5978	2660	8498
5	C-1	4765	81	57	13678	2005	13	5708	2703	2605
6	C-2	5255	98	58	14143	1793	14	6105	2893	5033
7	D-1	4048	74	40	13980	1970	13	6068	3033	1608
8	D-2	4605	67	38	13878	1423	9	6163	2998	1445
9	E-1	3280	64	33	12948	1688	11	6193	2980	1105
10	E-2	3890	40	24	12480	1010	6	6408	3003	860

Tablo 3.14. NaCN Liçi Sonrası Atık Numune ICP-OES Sonuçları

No	Numune Adı	As (mg/L)	Cd (mg/L)	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Ni (mg/L)	Pb (mg/L)	Sb (mg/L)	Zn (mg/L)
1	A-1	5102	97	47	10727	2602	16	6217	2807	4512
2	A-2	4947	101	44	10244	2513	16	6109	2798	5429
3	B-1	4787	95	44	10448	2299	14	6004	2669	3020
4	B-2	4879	100	43	10147	2143	15	5876	2575	4759
5	C-1	4622	80	37	9985	1925	13	5610	2616	1459
6	C-2	5097	97	38	10324	1721	13	6001	2800	2818
7	D-1	3926	73	26	10205	1891	12	5964	2935	900
8	D-2	4467	66	25	10131	1366	9	6058	2902	809
9	E-1	3182	63	21	9452	1620	10	6087	2885	619
10	E-2	3773	39	16	9110	970	6	6299	2906	482

4. Sonuç

Bu çalışmada, Eti Gümüş A. Ş'ye (Kütahya) ait gümüş cevheri atık barajlarından temsili olarak alınan harmanlanmış numuneler çeneli kırıcıda öğütülmüş, tane boyutu analizi yapılmış ve ardından farklı konsantrasyonlardaki sülfirik asit (H_2SO_4) çözeltileri ile ön asit liçine tabi tutularak, numunenin metal kirliliklerinden uzaklaştırılması sağlanmış ve daha sonra sodyum siyanür liçi ile gümüşün geri kazanımı çalışılmıştır. Yapılan çalışmada metalik gümüş ve diğer metalleri ihtiva eden numunenin H_2SO_4 ön aktivasyon liçi sonrası uygulanacak olan NaCN liçinden elde edilecek gümüş ve diğer metallerin verimliliğinin artırılması amaçlanmıştır. ICP-OES analiz sonuçlarından görüldüğü gibi sülfirik asitin ortamdaki özellikle demir (Fe) ve çinko (Zn) elementleri olmak üzere çeşitli metal kirliliklerini ortamdan uzaklaştırdığı görülmüştür. Deneysel veriler incelendiğinde H_2SO_4 liçinin verim artışında ciddi bir etkisinin olduğu, H_2SO_4 çözeltilerinin konsantrasyonu arttıkça metal kirliliklerinden uzaklaşan numunelerin, siyanür liçi sonucunda gümüş kazanım veriminde % 17,6'dan %31,7'ye artış sağlandığı görülmüştür. H_2SO_4 liçi ile ortamdan uzaklaşan metal kirlilikleri (çinko oksit ve metal oksit) sonucunda siyanürün gümüş iyonlarına yönelimi daha kolay ve hızlı hale gelmiştir. H_2SO_4 miktarının artışı gümüş verimliliğine pozitif yönde etki ettiği gözlemlenmiş fakat yapılan sıcaklık çalışmalarında sıcaklığın geri kazanım verimine önemli bir etkisi görülmemiştir. Sonuç olarak üretime alınan gümüş cevheri, siyanür liçinden sonra katı atık barajlarına gönderilmekte ve bu barajlardaki atıkların gümüş tenörünün oldukça yüksek olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla bu çalışmada öncelikle, Eti Gümüş Maden İşletmeleri'ne (Kütahya) ait gümüş cevheri atık barajlarından temsili olarak alınan harmanlanmış numuneler alınmış ve atık barajlarına gönderilen yüksek tenörlü gümüşün geri kazanılmasında asit liçi yapılmış ve asit liçi sonrası gümüş veriminin arttığı görülmüştür. Bu nedenle hem yüksek gümüş içerikli atıktaki gümüş değerlendirilmiş ve geri kazanılmış hem de depolanması gereken atık miktarı azaltılmış olmaktadır.

5. Teşekkür

Bu çalışmanın yürütülmesinde destek veren Eti Gümüş Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü'ne ve personeline teşekkür ederiz.

Kaynakça

- Ali, J., Wang, L., Waseem, H., Sharif, H.M.A., Djellabi, R., Zhang, C., Pan G. (2019). Bioelectrochemical recovery of silver from wastewater with sustainable power generation and its reuse for biofouling mitigation, *Journal of Cleaner Production*, 235, 1425-1437.
- Butterman, W.C., Hilliard, H.E. (2005). *Mineral commodity profiles: Silver*. Reston, USA.
- Castro, L., Blázquez, L., González, F., Muñoz, J.Á., Ballester, A. (2015). Exploring the possibilities of biological fabrication of gold nanostructures using orangepeel extract. *Metals*, 5, 1609–1619.
- Celep, O., Yazici, E.Y., Altinkaya, P., Deveci, H. (2019). Characterization of a refractory arsenical silver ore by mineral liberation analysis (MLA) and diagnostic leaching. *Hydrometallurgy*, 189, 105106.
- Chuang, C.H., Tsai, C.H., Lin, Y.C., Lin, H.J. (2016). Effects of current stressing on the grain structure and mechanical properties of Ag-Alloy bonding wires with various Pd and Au contents. *Metals*, 6, 182–195.
- Dao Ho, N.A., Babel, S., (2020). Bioelectrochemical technology for recovery of silver from contaminated aqueous solution: a review, *Environmental Science and Pollution Research*, <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10065-y>.
- Das, B., Saikia, P., Sharma, M., Baruah, M.J., Subhasish Roy, S., Kusum K. Bania, K.K. (2020). Direct cyanidation of silver sulfide by heterolytic C–CN bond cleavage of acetonitrile, *RSC Advances*, 10, 8314.
- Freitas, E.D., Almeida, H.J., de Almeida Neto, A.F., Vieira, M.G.A. (2018). Continuous adsorption of silver and copper by Verde-lodo bentonite in a fixed bed flow-through column. *Journal of Cleaner Production*. 171, 613–621.
- Freitas, G.R., Vieira M.G.A., da Silva M.G.C. (2019). Fixed bed biosorption of silver and investigation of functional groups

- on acidified biosorbent from algae biomass. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 36354–36366.
- Gabriela, V. M. F., Torres, J. R. P., Jesús, L. V. G., Guillermo, C. T. M., Gregorio, G. Z. (2012). Kinetic aspects of gold and silver recovery in cementation with zinc powder and electrocoagulation iron process, *Advances in Chemical Engineering and Science*, 2, 342-349.
- Huerta-Rosas, B., Cano-Rodriguez, I., Gamino-Arroyo, Z., Gomez-Castro, F.I., Carrillo-Pedroza, F.R., Romo-Rodriguez, Gutierrez-Corona, P.J.F. (2020). Aerobic processes for bioleaching manganese and silver using microorganisms indigenous to mine tailings, *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 36, 124.
- İbrahim, A., Celep, O., Paktunç, D., Thibault, Y. (2014). Influence of potassium hydroxide pretreatment on the extraction of gold and silver from a refractory ore. *Hydrometallurgy*, 146, 64–71.
- Li, H., Zhang, L., Koppala, S., Ma, A., Peng, J., Lia, S., Yina, S. (2018). Extraction of gold and silver in the selective chlorination roasting process of cyanidation tailing, *Separation Science and Technology*, 53(3), 458–466.
- Qin, H., Guo, X., Tian, Q., Zhang, L. (2020). Pyrite enhanced chlorination roasting and its efficacy in gold and silver recovery from gold tailing, *Separation and Purification Technology*, 250, 117168.
- Quinet, P., Proost, J., Lierde, A.V. (2005). Recovery of precious metals from electronic scrap by hydrometallurgical processing routes. *Minerals and Metallurgical Processing*, 22, 17–22.
- Tao, H.C., Gao, Z.Y., Ding, H. (2012). Recovery of silver from silver(I)-containing solutions in bioelectrochemical reactors. *Bioresource Technology*, 111, 92–97.
- Yang, E.H., Lee, J.K., Lee, J.S. (2017). Environmentally friendly recovery of Ag from end-of-life C-Si solar cell using organic acid and its electrochemical purification. *Hydrometallurgy*, 167, 129–133.
- Yaman, S. (2019). Eti Gümüş Maden İşletmeleri Atık Barajlarındaki Gümüşün Geri Kazanımı. Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 46 s.
- Wang, J., Lu, X.L., Fan, S.H., Zhao, W.Q., Li, W.K. (2015). In situ growth of gold nanoparticles on SiO₂/lanthanide-polyoxometalates composite spheres: An efficient catalytic and luminescent system. *Journal of Alloys and Compounds*, 632, 87–93.
- Zhang, K., Liu, Z., Qiu, X., Rao, S., Zhu, W. (2020). Hydrometallurgical recovery of manganese, gold and silver from refractory Au-Ag ore by two-stage reductive acid and cyanidation leaching, *Hydrometallurgy*, 196 (2020) 105406.



Karacabey'de (Bursa) Doğal Yayılış Yapan Gümüşi Ihlamur (*Tilia tomentosa* Moench.)'un Bazı Morfolojik Özellikleri ile Yaprak ve Çiçek Uçucu Bileşenlerinin Belirlenmesi

Ayşe Gül Sarıkaya^{1*}, Sefa Doğdu²

^{1*} Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0641-4445), aysegul.sarikaya@btu.edu.tr

² Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4567-5282), sefa00597@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 19 Ağustos 2020 ve Kabul Tarihi 8 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.782403)

ATIF/REFERENCE: Sarıkaya, A. G., Doğdu, S. (2021). Karacabey'de (Bursa) Doğal Yayılış Yapan Gümüşi Ihlamur (*Tilia tomentosa* Moench.)'un Bazı Morfolojik Özellikleri ile Yaprak ve Çiçek Uçucu Bileşenlerinin Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 17-24.

Öz

Bu çalışma ile Bursa Karacabey'de doğal yayılış yapan ve ekonomik açıdan değerli olan *Tilia tomentosa* Moench. (Gümüşi Ihlamur)'nın morfolojik özellikleri, uçucu bileşenleri, oranları ve molekülleri belirlenmesi amaçlanmıştır. Yapılan morfolojik ölçüm sonuçlarına göre Gümüşi ihlamurun yaprakları 36,66-132,12 mm uzunluk ve 39,23-113,92 mm genişlikte, yaprak sapı ise 20,03-69,34 mm uzunluğunda, simoz çiçek kurulu 4-13 çiçekli, brakteleri ise 40,34-109,5 mm uzunluk ve 5,82-21,83 mm genişlikte olduğu tespit edilmiştir. Gaz kromatografisi/kütle spektrometresi (GC-MS) ile kombine edilmiş Tepe Boşluğu- Katı Faz Mikro Ekstraksiyon (HS-SPME) tekniği ile çiçek, brakte ve yaprakların floral koku bileşenleri tespit edilmiştir. SPME analiz yöntemi ile çiçek, brakte ve yapraklarında 42 farklı bileşen belirlenmiş olup, n-Hexanal (%19,35), (E)-2-Hexenal (%18,45), 2,4 Heptadienal (%14,30) ve Limonene (%12,46) oranlarıyla ana bileşenler olarak belirlenmiştir. Uçucu bileşen sınıflarına bakıldığında aromatik alkollerin yüksek oranda olduğu bulunmuştur. Ihlamurlar geçmişten günümüze birçok alanda değerlendirilmektedir. Ihlamurun sağlık açısından olumlu etkileri olduğundan günümüzde ihlamura olan ilgi de artmıştır. Ihlamur ile ilgili kapsamlı bilimsel çalışmaların artırılması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: *Tilia tomentosa* (Gümüşi Ihlamur), Bursa-Karacabey, morfolojik özellikler, SPME, Uçucu bileşen.

Determination to Some Morphological Characteristics and Leaf and Flower Volatile Components of Silver Linden (*Tilia tomentosa* Moench.) Distributed in Karacabey (Bursa)

Abstract

In this study, it was aimed to determine the morphological characteristics, volatile components, ratios and molecules of *Tilia tomentosa* Moench. (Silver Lime), which is naturally spreading in Bursa Karacabey and is economically valuable. According to the results of the morphological measurements, the leaves of the silver linden are 36,66-132,12 mm in length and 39,23-113,92 mm in width, the petiole is 20,03-69,34 mm long, the symosis flower board with 4-13 flowers, braces 40,34-109,5 mm in length and 5,82-21,83 mm in width. Floral fragrance components of flowers, brackets and leaves were determined by the Head Space-Solid Phase Micro Extraction (HS-SPME) technique combined with gas chromatography / mass spectrometry (GC-MS). 42 different components were determined in flower, brachte and leaves, n-Hexanal (19,35%), (E) -2-Hexenal (18,45%), 2,4 Heptadienal (14,30%) and Limonene (12,46%) as the main components with the SPME analysis method. It was found that aromatic alcohols were high. Linden is used in many areas from past to present. Since linden has positive health effects, interest in linden has increased today. It is suggested to increase comprehensive scientific studies on linden.

Keywords: *Tilia tomentosa* (Silver linden), Bursa-Karacabey, morphological characteristics, SPME, Volatile component.

* Sorumlu Yazar: aysegul.sarikaya@btu.edu.tr

1. Giriş

Güney Avrupa ile Güneybatı Asya floraları arasında yer almasından dolayı tür çeşitliliği ve endemizmin yüksek olduğu bir konumda yer alan Türkiye’de, doğal olarak yetişen 11.466 bitki taksonu bulunmakta ve bu bitki taksonlarında yaklaşık 3649 tanesi endemiktir (Tan, 1992; Güner, 2012). Tıbbi bitkilerin tarihinin insanlık tarihi kadar eski olduğu bilinmektedir (Başer, 2008). Bitkilerle tedavi yolu çok eski yıllardan günümüze kadar dayanmaktadır. Türk tarihinde de Lokman Hekim ile ilgili yazılar ve hatta mitolojik ölüme çare bulduğu inancı insanların doğal bitkilere ve bu bitkilerden yapılan ilaçlara olan ilgisini arttırmıştır (Erdemir, 1998).

Bir çok alanda kullanım alanı bulan tıbbi ve aromatik bitkiler biyolojik kültürel ve endüstriyel kaynaklardır. Tıbbi ve aromatik bitkiler hastalıkların önlenmesi ve sağlık için ilaç olarak geleneksel ve modern tıpta kullanılmaktadır. Aynı zamanda besin takviyeleri, bitkisel çay, baharat olarak beslenmede yararlanılmaktadır. Parfüm ve vücut bakım ürünleri olarak parfümeri ve kozmetikte değerlendirilmesinin yanısıra, parlaticılar hatta böcek ilaçları olarak sanayinin farklı alanlarında da faydalanılmaktadır. Bu doğal kaynaklara olan talep son yıllarda oldukça artmış ve artmaya devam etmektedir (BAKA, 2012). Dünyanın birçok bölgesinde çeşitli bitkilerin iyileştirici özelliklerinden faydalanmak ve hoş giden lezzetlerini hissetmek amacıyla çayı içilmektedir. Bitkisel çaylar, tüketim miktarları dikkate alındığında besin unsurlarınca zengin bir kaynak değildir. Bitkilerle tedavi, son yıllara kadar geleneksel olarak devam etmiştir. Bitkisel çay üretiminin bilimsel temellere göre yapılmasıyla bitkisel çay tüketiminde artış gözlenmektedir. Ülke genelinde birkaç özel işletme bitkisel çay üretimi ve dağıtımına başlamıştır. Üretimde en yaygın olan bitkiler kuşburnu, adaçayı, ıhlamur, nane, papatya, tarçın, karanfil, rezene ile bunların ikili veya çoklu kombinasyonlarıdır (Akgül ve Ünver 2001).

Özellikle kış aylarında soğuk algınlığı için ıhlamur en çok tercih edilen bitkilerden birisidir. ıhlamur ağacının çiçekleri Ortaçağ’dan bu yana geleneksel olarak terlemeyi sağlayarak ve ateş düşürmek amacıyla kullanılmaktadır. Geçmişten günümüze kadar idrar söktürücü, spazm çözücü, mideyi sakinleştirici, öksürük ve boğaz ağrılarına karşı, balgam söktürücü, migren ağrılarına karşı, karaciğer ve safra hastalıklarına karşı yararlandığı bilinmektedir. Almanya’da resmi olarak şifalı bitki kabul edilen ıhlamur, doktorlar tarafından soğuk algınlığına karşı önerilmektedir. Bazı kültürlerde sadece ıhlamur ağacı altında oturarak epilepsinin tedavi edilebileceğine inanılmaktadır. ıhlamur çayı ülkemizde olduğu gibi farklı kültürlerde geleneksel olarak grip nedeniyle yükselen ateşi düşürmek için içilmektedir. ıhlamur çayının buharı burun tıkanıklığını açmaya yararırken, sıcak çayı boğaz ağrısını, öksürüğü iyileştirmektedir. Diğer bir kullanımı ise sinirleri yatıştırmak için sakinleştirici etkisidir. Yatıştırıcı etkisi bulunan ıhlamur çayı gerginliği alır, stresi azaltır ve uykuya geçişi kolaylaştırır. Doğada doğal olarak yetişen ıhlamur ağacının temmuz ve ağustos aylarında toplanan yaprakları ve çiçekleri kurutularak saklanmaktadır (URL-1, 2018).

Odunsu türlerin içinde önemli yere sahip olan ıhlamur türleri (*Tilia* spp.) çoğunluğu ağaç, bazen de boylu çalı halinde kışın yaprağını döken odunsu bitkilerdir (Tuttu vd., 2017). Tepe kısmı seyrek, geniş ve yuvarlak şeklindedir. Uzun saplı yapraklarının ayası yürek biçiminde ve çarpık, yaprak kenarları

genellikle dişli nadiren tamdır. Sade veya yıldız tüylü olan yapraklarının dizilişleri almaçlıdır. Çiçekleri en az üçü bir arada olmak üzere sarkan kurullar oluştururlar. Çiçek kurullarının ortak ekseninde bulunan brakte uzun bir kanat şeklindedir. Çiçekleri 5 taç ve 5 çanak yapraktan oluşmuş, sarımsı renkli ve kendine özgü kokuludur. Meyve küremsi, deri gibi sert veya odunsu yapıda olan kapalı meyvedir. Meyve yuvarlakça, odunlaşmış, sert kabuklu olup kabuk üzerinde 4-5 tane, uzunca çıkıntı bulunur. Tohum koyu boz kahverenginde, yumurta biçiminde, çenekler el görünüşünde, uzunca ve sivri dilimlere ayrılmıştır (URL-1, 2018).

Ülkemizde 4 türle temsil edilen ıhlamurun (*Tilia rubra* subsp. *caucasica*, *Tilia cordata*, *Tilia platyphyllos*, *Tilia tomentosa*) en yaygın olanı ve en çok tanınanı *Tilia tomentosa* (Synonim: *argentea*)’dır. Davis (1967)’e göre *Tilia argentea* olarak isimlendirilen tür Güner (2012) tarafından dünya literatürü ile uyumluluk sağlaması açısından, tekrar *Tilia tomentosa* olarak isimlendirilmiştir. ıhlamurlar, gençlikte yavaş büyümelerine rağmen ileriki yaşlarda büyümeleri hızlanmaktadır. ıhlamurlar (özellikle *Tilia tomentosa* ve *Tilia platyphyllos*) sıcak dağlık vadilerde ve benzeri uygun yetişme ortamlarında geniş çap ve uzun boy yapabilmektedirler. Toprak istekleri orta derecede kabul edilse de en iyi gelişmeyi gevşek, bir ölçüde nemli ve besin maddelerince zengin derin topraklarda yapmaktadır. Kütük ve kök sürgünü verme yeteneği kuvvetlidir. Baltalık ve korulu baltalıklar için elverişli bir ağaç türüdür (Saatçioğlu, 1976; Pigott, 2012). Avrupa-Sibirya elementi olan *Tilia tomentosa* (Gümüşü ıhlamur) ağırlıklı olarak Batı Karadeniz’de yayılış yapmaktadır. Trakya’da Istranca Dağlarından başlayan bu tür doğuda Zonguldak ve Karabük illerinde, güneyde ise Çanakkale ve Bursa illerinde de doğal yayılış yapmaktadır. Ancak lokal olarak Kuşadası Dilek Yarımadasında ve Hatay’da bulunduğu görülmektedir (Davis, 1967).

Zengin bir biyolojik çeşitliliğe sahip olan Bursa Orman Bölge Müdürlüğü ormanlarında 10.139 ha’lık bir alan *Tilia tomentosa* (Gümüşü ıhlamur)’nın doğal yetişme alanıdır (Bursa Plan Proje Şube Müdürlüğü, 2017). Çalışmanın konusunu oluşturan *Tilia tomentosa* (Gümüşü ıhlamur) ülkemizde çok geniş bir yayılış göstermektedir. Sarımsı veya beyazımsı çiçeklerinden dolayı süs bitkisi olarak yetiştirilen gümüşü ıhlamur ağacının boyu 15 - 40 m, yaprakların alt yüzü gümüşü beyaz, yıldız tüylü ve çiçekleri; 5 parçalı, sarımsı renkli, hafif baharlı lezzette olup, kendine has özel ve kuvvetli kokuludur (Uslu, 2004).

Uçucu yağlar ve aromatik ekstratlar, koku ve tat endüstrileri tarafından parfüm, gıda katkıları, temizlik ürünleri, kozmetikler ve ilaçların içeriğinde, aroma kimyasallarının kaynağı olarak, doğala özdeş ve yarı-sentetik yararlı aroma kimyasallarının sentez başlangıç maddesi olarak değerlendirilmektedirler (Başer, 1998). Günümüzde tıbbi bitkilerin ve bu bitkilere ait uçucu yağların saf ve özellikle ana etken maddelerinin elde edilip değerlendirilmesi hem bilimsel hem de ekonomik yönden oldukça önem taşımaktadır. Uçucu yağ ve bileşenlerinin farmakolojik özellikleri de incelenerek tıp, kozmetik ve endüstriyel alanlarda kullanılabilme imkânlarının yararlı olabileceği düşünülmektedir (Kırbağ, 2000).

Uçucu yağlar eski çağlardan günümüze kadar birçok hastalığın tedavisinde kullanılan ilaçlar arasındadır (Kubeczka, 1979). Halk tıbbında kullanıma amaçları dikkate alınarak bu ilaçlar üzerinde yapılan farmakolojik araştırmalar sonucunda

bazı biyolojik etkileri bilimsel olarak da ortaya konulmuştur (Şarer, 1991; Kıvanç ve Akgül, 1986). Günümüzde tıbbi bitkilerin ve bu bitkilere ait uçucu yağların saf ve özellikle ana etken maddelerinin elde edilip değerlendirilmesi hem bilimsel hem de ekonomik yönden oldukça önem kazanmıştır. Yapılan bilimsel araştırmalar ele alındığında ıhlamur türlerinin uçucu bileşenlerinin tespiti ile ilgili çalışmalar yok denilecek kadar azdır.

Bu çalışma ile Bursa Karacabey'de doğal yayılış yapan ve ekonomik açıdan değerli olan *Tilia tomentosa*'nın morfolojik özellikleri, uçucu bileşenleri, oranları ve molekülleri belirlenmiştir. Böylece ekonomiye ve orman halk ilişkilerine önemli katkıları bulunan *Tilia tomentosa*'nın morfolojik özellikleri ve uçucu bileşenleri tespit edilerek tıp, kozmetik ve endüstriyel alanlarda kullanılabilme imkânları ortaya konulmaya çalışılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Bursa Karacabey'de doğal yayılış yapan Gümüşi ıhlamur (*Tilia tomentosa* Moench.) popülasyonları çalışmanın materyalini oluşturmaktadır. Toplanan bitki örnekleri herbaryum örneği haline getirildikten sonra teşhisleri Bursa Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi'nde yapılmıştır.

Gümüşi ıhlamurun morfolojik özelliklerinin belirlenmesi için çiçek, yaprak ve brakte incelenerek gerekli ölçümler yapılmıştır. Ayrıca Gümüşi ıhlamurun uçucu bileşenlerin tespiti için yaprakları, çiçekleri ve brakteleri yarı gölgeli bir yerde uygun şartlarda kurutularak paketlenmiş, analiz için hazır hale getirilmiştir.

2.2. Yöntem

2.2.1. Morfolojik Özelliklere Ait Yöntem

Bursa Karacabey'de doğal yayılış yapan Gümüşi ıhlamur (*Tilia tomentosa* Moench.) türünün morfolojik özelliklerinin belirlenmesi için vejetatif ve generatif organları basit rastgele örnekleme yöntemi ile toplanmıştır. Toplanan yaprakların en boy ölçümleri, yaprak sapı uzunluğu, brakte eni ve brakte boyu, çiçek sayısı, gibi özellikleri tespit edilmiştir. Bu özelliklerin tespitinde yaprak, çiçek, brakte'den 50'şer adet ölçüm yapılmıştır (Şekil 1.).

2.2.2. Yaprak ve çiçek floral uçucu bileşenlerinin HS-SPME/GC-MS analizi ile belirlenmesi

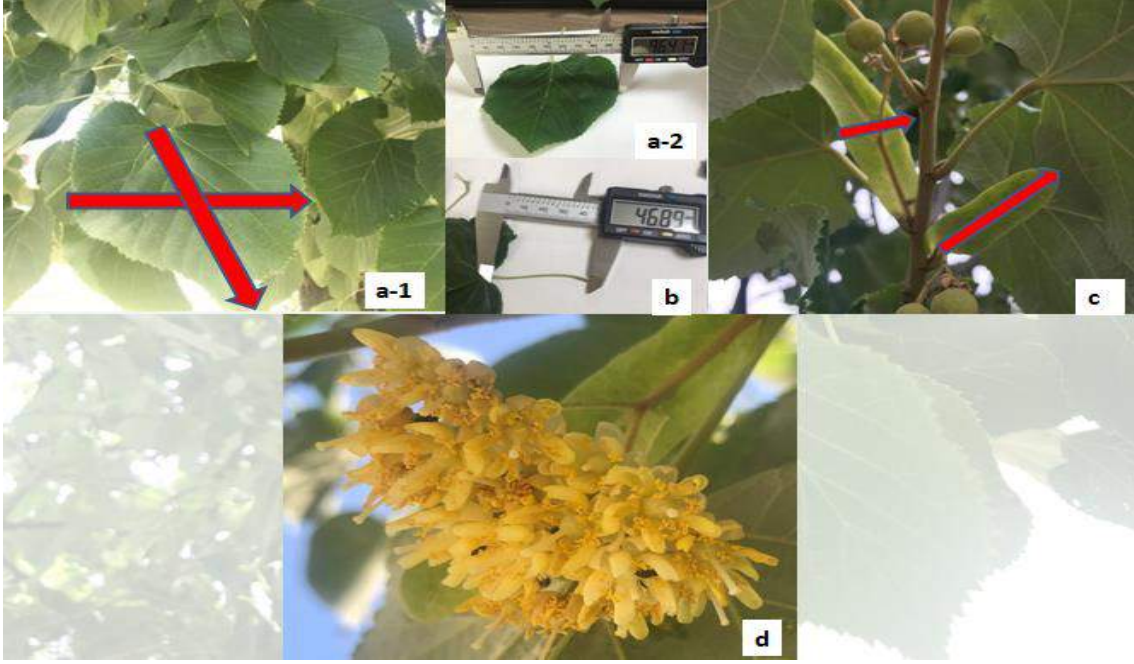
Vejetasyon döneminde Gümüşi ıhlamurun yaprak ve çiçeklerinin olgunlaşma zamanında belirlenen alanlara gidilerek, ağaçlardan yaprak, çiçek ve brakte örnekleri toplanmıştır. Toplanan yaprak, çiçek ve brakte örnekleri ambalajlara konulacak hiç bekletmeden ve güneş ışığına maruz bırakmadan aynı gün içerisinde laboratuvara nakledilmiştir. Toplanan bitki materyalleri sabit ağırlığa gelene kadar oda sıcaklığında (25°C) kurutulmuştur.

Gaz kromatografisi/kütle spektrometresi (GC-MS) ile kombine edilmiş Tepe Boşluğu- Katı Faz Mikro Ekstraksiyon (HS-SPME) tekniği ile çiçek ve yaprakların floral koku bileşenleri tespit edilmiştir. Katı faz mikroekstraksiyon (SPME, Supelco, Germany) yöntemi kullanılarak, 10 mL vial içine konulan 2 g çiçek ve yaprak örnekleri 30 dakika boyunca 60

°C'de tutulduktan sonra tepe boşluğundan 75 µm inceliğinde Carbokzen/Polidimetilsilokzan (CAR/PDMS) kaplı fused silica fiber ile uçucu bileşenler absorbe edilmiş ve bekletilmeden HS-SPME uyumlu GC-MS (Shimadzu 2010 PLUS) cihazının kapiler kolonuna (Restek Rx-5 Sil MS 30 m x 0.25 mm, 0.25 µm) enjekte edilmiştir. Fırın sıcaklığı 40°C'de 2 dakika bekledikten sonra dakikada 4°C'lik artışla ulaşılacak şekilde 250°C'ye programlanmıştır. Enjektör ve dedektör sıcaklıkları 250°C olarak ayarlanacak ve iyonlaştırma türü olarak EI (70 eV) ve Helyum (1.61 mL/dakika) taşıyıcı gaz olarak kullanılmıştır (Şekil 2). Wiley, Nist, Tutor, FFNSC kütüphanelerinden uçucu bileşenlerinin tanımlanmasında yararlanılmıştır. LRI (Linear Retention Indices) değerleri, bir seri C7-C30 doymuş n-alkan standartları (Sigma-Aldrich Chemical Co. USA) yardımıyla hesaplanmıştır.

2.2.3. İstatistiksel Değerlendirme

Çalışmada morfolojik ölçümlere ait verilerin minimum, maksimum ve aritmetik ortalama değerleri Microsoft Office Excel programında hesaplanmıştır. Verilerin standart sapmaları, varyasyonları, IBM SPSS Statistics (istatistik program) paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Morfolojik Ölçümler (a-1 ve a-2:yaprak en-boy, b: yaprak sapı, c: brakte en-boy, d: çiçek)



Şekil 2. Yaprak ve Çiçek Uçucu Bileşenlerinin Tespiti

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Morfolojik Özelliklere ve İstatistiksel Değerlendirmeye Ait Bulgular ve Tartışma

Gümüşi ıhlamur (*Tilia tomentosa* Moench.) 40 m'ye kadar boylanabilen bir ağaçtır. Gövde ve ana dalların kabuğu açık gri renkli, genç ağaçlarda boyuna yönde düzgün ve sığ oluklu, yaşlandıkça boyuna yönde koyu gri veya siyah çatlaklı yapıdadır. Genç sürgünleri tüylüdür. Tomurcukları 2-3 pulludur; pulların dış kenarları tüylüdür (Browicz, 1968; Toker vd., 1997; Yaltrık ve Efe, 2000; Demir, 2003; Pigott, 2012; Korkusuz, 2014).

Gümüşi ıhlamurun morfolojik özelliklerinin belirlenmesi için çiçek, yaprak ve brakte incelenerek gerekli ölçümler yapılmış ve Tablo 1'de verilmiştir. Ayrıca çalışmada morfolojik ölçümlere ait verilerin minimum, maksimum ve aritmetik ortalama değerleri Microsoft Office Excel programında hesaplanmış, verilerin standart sapmaları, varyasyonları, IBM SPSS Statistics (istatistik program) paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. Gümüşi ıhlamurun geniş yumurta şeklindeki yaprakları 36,66-132,12 mm uzunluk ve 39,23-113,92 mm genişlikte olup aniden sivri uçlu ve testere dişli kenarları vardır. Yaprak yastığının üst yüzü tüysüz ve koyu yeşil, alt yüzü ise tamamen beyazimsı yıldız tüylerle kaplıdır. Yaprak sapı ise 20,03-69,34 mm uzunluğunda

ve tüylüdür. 4-13 çiçekli simoz çiçek kurulu aşağı doğru sarkık çiçekleri Haziran sonu-Temmuz başında açmaktadır. Çiçek ve çiçek kurulu sapları sık ve yumuşak tüylüdür. Çiçekte çok sayıdaki stamenin yanı sıra 5 tane de spatül şeklinde verimsiz

stamen bulunur. Brakteleri ise 40,34-109,5 mm uzunluk ve 5,82-21,83 mm genişlikte olup tüylüdür. Nuks meyve üzeri az-çok omurgalı, siğilli ve yoğun tüylüdür, kalın bir kabuğa sahiptir.

Tablo 1. Gümüşi Ihlamur (*Tilia tomentosa* Moench.) Türünün Morfolojik Ölçüm Değerleri

	Yaprak Eni	Yaprak Boyu	Yaprak Sap Uzunluğu	Brakte Eni	Brakte Boyu	Brakte Sap Uzunluğu	Çiçek Sayısı
1.	57,48	77,21	34,18	10,23	48,86	18,33	8
2.	89,22	123,67	69,34	21,83	94,86	31,64	11
3.	96,41	114,34	56,27	10,73	93,56	29,78	10
4.	72,67	77,71	38,66	7,36	56,73	16,39	8
5.	80,4	109,92	46,89	10,73	76,2	24,55	8
6.	56,14	70,97	38,89	10,77	61,54	10,77	6
7.	76,87	100,57	54,3	15,03	57,47	14,36	8
8.	64,07	76,12	45,27	15,05	97,83	34,31	7
9.	43,49	47,52	30,1	12,53	79,68	25,54	10
10.	39,23	36,66	21,99	8,29	74,48	23,25	11
11.	99,12	115,94	53,87	15,92	88,47	26,25	9
12.	103,29	131,92	61,37	12,33	81,9	25,75	13
13.	82,62	110,32	51,19	15,99	105,64	40,71	11
14.	69,16	79,47	40,15	15,58	84,53	32,53	12
15.	44,2	51,68	32,63	13,53	86,18	34,75	8
16.	54,6	68,44	36,38	12,72	73,8	17,98	5
17.	43,94	58,85	30,47	13,13	86,9	25,9	8
18.	69,78	91,91	46,07	15,18	96,84	33,57	12
19.	87,91	113,54	49,15	17,97	102,52	45,62	13
20.	103,75	132,12	58	19,1	101,3	23,63	9
21.	96,32	125,19	65,56	10,36	83,14	23,11	9
22.	70,37	91,4	55,35	13,99	91,97	38,29	13
23.	77,52	92,02	43,84	14,34	92,66	31,38	11
24.	48,23	49,94	30,01	15,42	53,36	9,81	9
25.	93,64	123,63	56,14	12,93	85,12	28,5	11
26.	80,27	98,28	42,18	12,92	92,68	24,84	4
27.	82,67	111,3	45,3	10,07	49,15	18,23	9
28.	104,85	129,74	50,47	12,04	94,52	42,56	11
29.	74,87	93,31	87,19	11,37	81,51	30,87	12
30.	92,73	113,26	50	8,36	48,59	20,06	9
31.	94,65	125,18	56,03	12,05	82,8	24,28	9
32.	102,43	110,98	61,1	6,03	47,63	11,31	7
33.	70,37	85,87	38,25	13,48	70,72	20,33	9
34.	77,66	94,58	41,73	8,66	46	18,76	9
35.	113,92	132,12	51,22	10,12	53,46	22,84	8
36.	48,11	43,9	30,16	5,82	40,34	13,16	6
37.	58,95	86,69	66,5	17,55	109,5	43,99	11
38.	103	129,52	58,12	11,19	82,93	26,92	11
39.	83,93	91,81	40,61	9,2	72,9	33,03	8
40.	103,09	121,88	48,39	13,01	87,23	26,9	4
41.	79,44	99,66	48,75	14,27	103,33	33,33	8
42.	67,41	75,94	37,61	12,12	79,46	26,63	9
43.	85,16	114,04	62,91	7,95	63,59	20,97	8
44.	99,86	114,48	56,07	10,84	76,48	18,10	11
45.	101,88	124,48	50,38	16,37	83,21	34,31	12
46.	87,18	99,07	46,13	8,14	49,23	18,08	8
47.	99,23	117,16	52,24	10,78	79,95	26,13	10
48.	79,65	106,21	57,32	14,02	88,29	31,87	11
49.	41,63	46,93	20,03	12,75	73,4	25,59	8
50.	94,36	130,8	53,87	10,77	58,85	11,88	9

Tablo 2. Gümüşü İhlamur (*Tilia tomentosa* Moench.) Türünün Morfolojik Ölçümlerine Ait İstatistiksel Değerlendirme

	Yaprak Eni	Yaprak Boyu	Yaprak Sap Uzunluğu	Brakte Eni	Brakte Boyu	Brakte Sap Uzunluğu	Çiçek Sayısı
Ölçüm Sayısı	50	50	50	50	50	50	50
Min.	39,23	36,66	20,03	5,82	40,34	9,81	4
Max.	113,92	132,12	87,19	21,83	109,5	45,62	13
Ortalama	78,9546	97,3650	47,9726	12,4184	77,4258	25,8334	9,22
Std. Sapma	20,05895	26,85244	12,68203	3,29754	18,17089	8,69243	2,160

Davis (1967)'e göre yaprakları 70-130 mm uzunluk ve 50.5-100 mm genişlikte, yaprak sapı ise 40.5-60 mm uzunluğunda ve çiçek kurulu 7-10 çiçekli olarak tespit edilmiştir. Yapılan çalışma çalışmamızın sonucundan farklılık göstermektedir.

3.2. Morfolojik Özelliklere ve İstatistiksel Değerlendirmeye Ait Bulgular ve Tartışma

Çalışmamızda Bursa Karacabey'de doğal yayılış yapan Gümüşü ihlamurunun (*Tilia tomentosa* Moench.) çiçeklenme döneminde toplanan çiçek, brakte ve yaprak örneklerinin uçucu yağ bileşenleri SPME (katı faz mikroekstraksiyon yöntemi) analiz yöntemi ile belirlenmiş olup, 42 farklı bileşen tespit edilmiştir. n-Hexanal (%19,35), (E)-2-Hexenal (%18,45), 2,4 Heptadienal (%14,30) ve Limonene (%12,46) oranlarıyla ana bileşenler olarak belirlenmiştir. Uçucu bileşen sınıflarına bakıldığında aromatik alkollerin yüksek oranda olduğu bulunmuştur (Çizelge 3).

Gegiu, (2008)'nin Bükreş (Romanya)'ten topladığı *Tilia americana*, *T. tomentosa* ve *T. platyphyllos* türlerinin uçucu bileşenlerini hidrodistilasyon ile belirlemiştir. *T. tomentosa*'da ana bileşen olarak phytol bileşenini tespit etmiştir. Toker vd., (2011) GC/MS ile *Tilia platyphyllos*, *T. rubra* ve *T. tomentosa*'nın (Sin.:*T. argentea*) uçucu yağ bileşenlerini araştırmışlardır. *T. tomentosa*'da ana bileşen olarak Hexadecanoic acid, 2-phenethyl benzoate, β -ionone, geranyl acetone, farnesyl acetone ve hexahydrofarnesyl acetone ana bileşenler olarak belirlenmiştir. Fitsiou vd. (2011) Yunanistan ve Romanya'da GC/MS ile *T. tomentosa* ve *T. cordata*'nın uçucu yağ bileşenlerini belirlemiştir. Ana bileşenler olarak *T. tomentosa*'da Linalool (13.1%) ve hexahydrofarnesyl acetone (17.7%) tespit edilmiştir. Yapılan çalışmaların sonuçları bu açılarından çalışmamızdan farklılık göstermektedir.

Tablo 3. Gümüşü İhlamur (*Tilia tomentosa* Moench.) Türünün Yaprak ve Çiçek Uçucu Bileşenleri ve Sınıfları

	R. Time	Bileşenler	%	Formül	Sınıf
1.	1.628	Iso Butyraldehide	0,69	C ₄ H ₈ O	AA
2.	1.755	2,3-Butanedione	3,92	C ₄ H ₆ O ₂	AAI
3.	1.790	Methyl ethyl ketone	0,81	C ₄ H ₈ O	AA
4.	1.835	2-Methyl furan	0,95	C ₅ H ₆ O	AAI
5.	1.881	3-Methyl furan	0,89	C ₅ H ₆ O	AAI
6.	2,195	3-Methyl butanal	0,19	C ₅ H ₁₀ O	AAI
7.	2,316	2-Methylbutanal	0,36	C ₅ H ₁₀ O	AAI
8.	2,511	1-Pentene-3-ol	0,84	C ₅ H ₁₀ O	AAI
9.	2,675	n-Pentanal	3,40	C ₅ H ₁₀ O	AAI
10.	2,833	Sorbaldehide	1,09	C ₆ H ₈ O	AAI
11.	3,324	4-Methyl-2-pentanone	0,25	C ₆ H ₁₂ O	AA
12.	3,823	(E)-2-Pental,	0,32	C ₅ H ₈ O	AAI
13.	3,896	Amylol	0,71	C ₅ H ₁₂ O	AA
14.	4,584	n-Hexanal	19,35	C ₆ H ₁₂ O	AA
15.	6,072	(E)-2-Hexenal	18,45	C ₆ H ₁₀ O	AA
16.	6,183	cis-3-Hexene-1-ol	0,68	C ₆ H ₁₂ O	AA
17.	6,530	(Z)-2-Hexen-1-ol	0,18	C ₆ H ₁₂ O	AA
18.	6,633	n-Hexanol	1,50	C ₆ H ₁₄ O	AA
19.	7,256	2-Heptanone	0,34	C ₇ H ₁₄ O	AA
20.	7,651	n-Heptanal	0,88	C ₇ H ₁₄ O	AA
21.	8,474	α -Phellandrene	0,21	C ₁₀ H ₁₆	MH
22.	8,704	, α ,-Pinene	3,37	C ₁₀ H ₁₆	MH
23.	9,767	Benzaldehide	1,76	C ₇ H ₆ O	AAI
24.	10.182	. β ,-Phellandrene	0,18	C ₁₀ H ₁₆	MH
25.	10.330	. β ,-Pinene	0,77	C ₁₀ H ₁₆	MH

	R. Time	Bileşenler	%	Formül	Sınıf
26.	10.570	(E)-2-Octen-1-ol,	0,58	C ₈ H ₁₆ O	AAI
27.	10.722	4-Methylhept-6-En-3-One	0,48	C ₈ H ₁₄ O	AAI
28.	10.870	.β.-Myrcene	0,98	C ₁₀ H ₁₆	MH
29.	11.414	n-Octanal	0,56	C ₈ H ₁₆ O	AAI
30.	11.885	.α.-Terpinene	0,68	C ₁₀ H ₁₆	MH
31.	12.159	2,4 Heptadienal	14,30	C ₇ H ₁₀ O	AAI
32.	12.343	Limonene	12,46	C ₁₀ H ₁₆	MH
33.	12.455	1,8-Cineole	1,13	C ₁₀ H ₁₈ O	OM
34.	13.063	1,3,7-Octatriene, 3,7-dimethyl-	1,21	C ₁₀ H ₁₆	MH
35.	13.486	.γ.-Terpinene	0,60	C ₁₀ H ₁₆	MH
36.	14.640	Fenchone	0,56	C ₁₀ H ₁₆ O	OM
37.	15.170	Linalool	0,36	C ₁₀ H ₁₈ O	OM
38.	15.338	n-Nonanal	1,62	C ₉ H ₁₈ O	AAI
39.	16.891	Bicyclo[2.2.1]heptan-2-one, 1,7,7-trimethyl-, (1S)-	1,13	C ₁₀ H ₁₆ O	OM
40.	22.704	Dodecane	0,48	C ₁₆ H ₃₄	SH
41.	26.184	Tetradecane	0,52	C ₁₆ H ₃₄	SH
42.	26.420	Junipene	0,26	C ₁₅ H ₂₄	SH
TOPLAM			100		
Bileşen Sayısı			42		
AA: Aromatik alkol			43,84		
AAI: Aromatik aldehit			31,26		
MH: Monoterpen hidrokarbon			20,46		
OM: Oksijenli monoterpen			3,18		
SH: Seskiterpen hidrokarbon			1,26		

4. Sonuç

Çalışma sonuçlarına göre Gümüşü ıhlamurun yaprakları 36,66-132,12 mm uzunluk ve 39,23-113,92 mm genişlikte, yaprak sapı ise 20,03-69,34 mm uzunluğunda, simoz çiçek kurulu 4-13 çiçekli, brakteleri ise 40,34-109,5 mm uzunluk ve 5,82-21,83 mm genişlikte olduğu tespit edilmiştir.

SPME (katı faz mikroekstraksiyon yöntemi) analiz yöntemi ile çiçek, brakte ve yapraklarında 42 farklı bileşen belirlenmiş olup, n-Hexanal (%19,35), (E)-2-Hexenal (%18,45), 2,4 Heptadienal (%14,30) ve Limonene (%12,46) oranlarıyla ana bileşenler olarak tespit edilmiştir. Uçucu bileşen sınıflarına bakıldığında aromatik alkollerin yüksek oranda olduğu bulunmuştur.

Gümüşü ıhlamur bitkisi gıda, kozmetik ve ilaç endüstrisi gibi farklı sektörlerde kullanılmaktadır. Yaprak, çiçek ve braktelerinden elde edilen uçucu yağda farklı alanlarda değerlendirilmektedir. Gümüşü ıhlamurun kullanım alanlarının artması sonucu her geçen yıl ihracat talebi artmakta ve sadece doğadan toplanmasından dolayı doğal yayılış alanları üzerindeki baskı da artmaktadır. Doğadan usulsüz ve yanlış yöntemlerle toplanan bitkiler biyolojik çeşitliğimizin tahrip edilmesine ve hatta bazı bitkilerin neslinin tükenmesine neden olmaktadır. Bitki çeşitliliğinin azalmaması için bilinçli ve kotalı toplama yöntemleri hakkında bitki toplayıcıların bilinçlenmesi ve türlerin kültüre alınmasının artırılması sağlanmalıdır. Gümüşü ıhlamurun bilinçsiz hasat edilmesi, hasat edilen alanlarda makine kullanılamaması ve ulaşım yetersizliği gibi sorunlardan dolayı

üretim kalitesinin düşmesi, gümüşü ıhlamur alanlarının tahrip olması ve çiçek brakte veriminde azalmalar olduğu tespit edilmiştir. Son dönemlerde planlı üretim için çalışmalar başlamıştır. Ülkemiz ekonomisine önemli katkı sağlayan ve özellikle kırsal bölge ekonomisinde önemli rol oynayan Odun Dışı Orman Ürünlerinin korunması ve sürdürülebilir şekilde planlanması ve kullanım alanlarının geliştirilmesi açısından bu tarz çalışmalar artırılmalıdır.

Ihlamurlar tarih boyunca birçok alanda kullanılmıştır. Ihlamurun insan sağlığı üzerinde de olumlu etkileri olduğundan son yıllarda ıhlamura olan ilgi daha da artmıştır. Bu nedenlerle de Ihlamurun özelliklerinin daha iyi bilinmesi ve kullanım alanlarının daha iyi ortaya konulması için kapsamlı bilimsel çalışmaların artırılması ve ekonomik katkısının sürekliliği için bitki ihracatının gelişmesine destek verilmesi çalışma ile önerilmektedir.

5. Teşekkür

Bu Çalışma, Tübitak 2209/A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destek Programı kapsamında desteklenen "Bursa Karacabey'de Doğal Yayılış Yapan Gümüşü Ihlamur (*Tilia tomentosa* Moench.)'un Bazı Morfolojik Özellikleri ile Yaprak ve Çiçek Uçucu Bileşenlerinin Belirlenmesi" başlıklı projenin sonuçlarını içermektedir. Çalışmamıza verdiği destekten dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

Kaynakça

- Akgül, A. ve Ünver, A. (2001). Bitkisel Caylar. Gıda Mühendisliği Dergisi, Selcuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi. 11: 21-24.
- Batı Akdeniz Kalkınma Ajansı, (2012). Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Sektör Raporu, 2012.
- Browicz, K., (1968). Tilia. In: Tutin GT, Heywood VH, Burges NA, More DM, Valentin DH, Walters SM & Webb DA, (eds). Flora europaea, rosacea to umbelliferae. Vol. 2, Second edition Cambridge university press.
- Başer, H.C., (1998). Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Endüstriyel Kullanımı TAB Bülteni 13-14:19-43.
- Başer, K.H.C., (2008). Biological and Pharmacological Activities of Carvacrol and Carvacrol Bearing Essential Oils. Current Farmaceutical Design, 14(29), 3106-3120.
- Bursa Orman Bölge Müdürlüğü, Plan Proje Şube Müdürlüğü, (2017). Amenajman Plan verileri, 2017.
- Davis, P.H., (1967). Flora of Turkey and The East Aegean Islands. Vol: 2, Edinburg University Press.
- Demir, D., (2003). Türkiye’de doğal yetişen ıhlamur (*Tilia L.*) taksonlarının orfolojik ve palinolojik özellikleri. İ.Ü. Fen bilimleri, İstanbul, 141 s.
- Erdemir, D., A., (1998). At Kestanesi Doğanın Harika İlacı. Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi. Nobel Kitap Evi, İstanbul.
- Fitsiou, I., Tzakou, O., Hancianu, M., Poiata, A. (2011). Volatile Constituents and Antimicrobial Activity of *Tilia tomentosa* Moench and *Tilia cordata* Miller Oils. Journal of Essential Oil Research. Vol: 19, 183-185.
- Gegiu, A., (2008). Contributions to the knowledge of the composition of essential oils from *Tilia tomentosa*, *Tilia americana* and *Tilia platyphillos*. Lucrări Ştiinţifice - Universitatea de Ştiinţe Agronomice şi Medicină Veterinară Bucureşti. Seria B, Horticultură, No.51, 570-572 ref.5.
- Güner, A., Akyıldırım, B., Alkayış, M. F. Çıngay B., Kanoğlu, S.S., Özkan, A.M., Öztekin, M., Tuğ, G.N. (2012). Türkçe bitki adları. Nezahet Gökyiğit Botanik Bahçesi Yayınları Flora Dizisi 1 İstanbul.
- Kırbağ, S., Bağcı E., (2000). *Picea abies* (L.) Karst. ve *Picea orientalis* (L.) Link Uçucu Yağlarının Antimikrobiyal Aktivitesi Üzerine Bir Araştırma. Journal of Qafqaz University, III, 183-190.
- Kıvanç, M., Akgül A., (1986). Antibacterial Activities of Essential Oils from Turkish Spices and Citrus. Flavour and Fragrance Journal, 1,175-179.
- Korkusuz, E. E., (2014). Gümüşü Ihlamurun (*Tilia tomentosa* Moench.) Tohum Özellikleri Üzerine Araştırmalar. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Kubeczka, K.H., (1979). Vorkommen und Analytik Atherischeröle, Georg, Thieme Verlag, Stuttgart.
- Pigott, D., (2012). Lime-trees and basswoods: A biological monograph of the genus *Tilia*. Cambridge university press, New York, 405 pg.
- Saatçioğlu, F. (1976). Fidanlık Tekniği , . Orm. Fak. Yayın No: 223 , İstanbul.
- Şarer, E., (1991). Uçucu Yağların Biyolojik Etkileri ve Tedavide Kullanımları. 9. Bitkisel İlaç Hammaddeleri Toplantısı, Bildiriler Kitapçığı, Eskişehir.
- Tan, A. (1992). Türkiye’de Bitkisel Çeşitlilik ve Bitki Genetik Kaynakları, Anadolu J. of AARI 2: 50-64, MARA.
- Toker, M.C., Toker, G., Yılmaz, R., (1997). Ihlamur (*Tilia*) meyveleri üzerinde morfolojik ve anatomik çalışmalar. Ankara eczacılık fakültesi dergisi, 26 (2) 89-94 pg.
- Toker, G., Başer, K. H. C., Kürkçüoğlu, M., Özek, T., (2011). The Composition of Essential Oils from *Tilia L.* Species Growing in Turkey. Journal of Essential Oil Research, Vol.:11, 369-374.
- Tuttu, G., Ursavaş, S., Söyler R., (2017). Ihlamur Çiçeğinin Türkiye’deki Hasat Miktarları ve Etnobotanik Kullanımı, Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi, 3 (1) 60-66 Anatolian Journal of Forest Research. Türkiye.
- Yaltırık, F., Efe, A., (2000). Dendroloji ders kitabı. İ.Ü. Orman fak. Yayınları no: 465, İstanbul.
- URL-1, (2018). Ihlamur (*Tilia*). Erişim tarihi 15.11.2018. Erişim adresi: <http://www.agaclar.net/forum/genis-yaprakli-agaclar/438.htm>.
- Uslu J. (2004). Ihlamur Profil Sektörü, İstanbul Ticaret Odası Bilgi İşlem Doküman Odası, 2004.



The Effect of an Induction Heating System on Power Quality Parameters

Hayrettin Gökozan*

Manisa Celal Bayar University, Turgutlu Vocational School Department of Electric and Energy, Manisa, Turkey (ORCID: 0000-0002-8917-4001),
hayrettin.gokozan@cbu.edu.tr

(First received 15 September 2020 and in final form 10 January 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.795213)

ATIF/REFERENCE: Gökozan, H. (2021). The Effect of an Induction Heating System on Power Quality Parameters. *European Journal of Science and Technology*, (21), 25-30.

Abstract

This study was conducted to determine the Power Quality (PQ) parameters of 900 kHz, 2.8 kW Ultra High Frequency Induction Heating System (UHFIHS) during heat treatment of TI-6Al-4V based material. The material is one of the most important titanium alloys in the industry applications. All current and voltage data of the induction system are collected under laboratory conditions with special analog sensors and recorded to the computer by using NI LabVIEW™ program. The collected data are analyzed by Discrete Fourier Transform (DFT) and the effect of the device on power quality parameters during operation was examined. When the DFT frequency spectrum is analyzed, it is seen that the 3rd (150 Hz), 5th (250 Hz), and 7th (350 Hz) harmonic components are quite higher than 10 %, while the others are below 10 % in the Period I and Period II. Period I indicates the time until the sample to be heated reaches a temperature of 700 ° C and period II indicates the time after the sample has reached the desired temperature level.

Keywords: Power Quality, Harmonics, Induction Heating System, Titanium Alloys, Signal Processing.

İndüksiyonlu Bir Isıtma Sisteminin Güç Kalitesi Parametrelerine Etkisi

Öz

Bu çalışma TI-6Al-4V bazlı malzemenin ısıtma işlemi sırasında 900 kHz, 2.8 kW Ultra Yüksek Frekanslı İndüksiyon Isıtma Sisteminin (UHFIHS) Güç Kalitesi (PQ) parametrelerini belirlemek için yapılmıştır. Bu malzeme, endüstri uygulamalarında en önemli titanyum alaşımlarından biridir. İndüksiyon sisteminin tüm akım ve gerilim verileri, özel analog sensörlerle laboratuvar koşullarında toplanmış ve NI LabVIEW™ programı kullanılarak bilgisayara kaydedilmiştir. Toplanan veriler Ayrık Fourier Dönüşümü (DFT) ile analiz edilmiş ve cihazın çalışması sırasında güç kalitesi parametreleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. DFT frekans spektrumu incelendiğinde, Periyot I ve Periyot II'de, 3. (150 Hz), 5. (250 Hz) ve 7. (350 Hz) harmonik bileşenlerin % 10'dan oldukça yüksek olduğu, diğerlerinin % 10'un altında olduğu görülmektedir. Periyot I, ısıtılacak numunenin 700 ° C sıcaklığa ulaşma sürecini ve periyot II, numunenin istenen sıcaklık seviyesine ulaşmasından sonraki süreci gösterir.

Anahtar Kelimeler: Güç Kalitesi, Harmonikler, İndüksiyon Isıtma Sistemi, Titanyum Alaşımlar, Sinyal İşleme.

* Corresponding Author: hayrettin.gokozan@cbu.edu.tr

1. Introduction

Power Quality (PQ) refers to the smoothness of the voltage and current sinusoidal waveform. If the pure sinusoidal form changes, the power quality deteriorates (Gökozan et al, 2015), (Gökozan, 2011). Quality of electrical energy is highly important for accurate and efficient operation of electrical machines. Power quality is becoming an important issue nowadays in domestic and

industrial fields (Arrillaga et al, 2000). Electromagnetic Induction is a method used to fast heat magnetic materials. Induction heating (IH) systems are widely used in industry. UHFH Treatment is one of the rapid heat process (Taştan et al, 2015). Induction heating offers a number of advantages over conventional furnace techniques, such as: quick heating, fast start-up, energy saving, high production rates, and less scale loss (Çavdar, 2014). Typical power conversion flow in an IH system is shown in Figure 1.

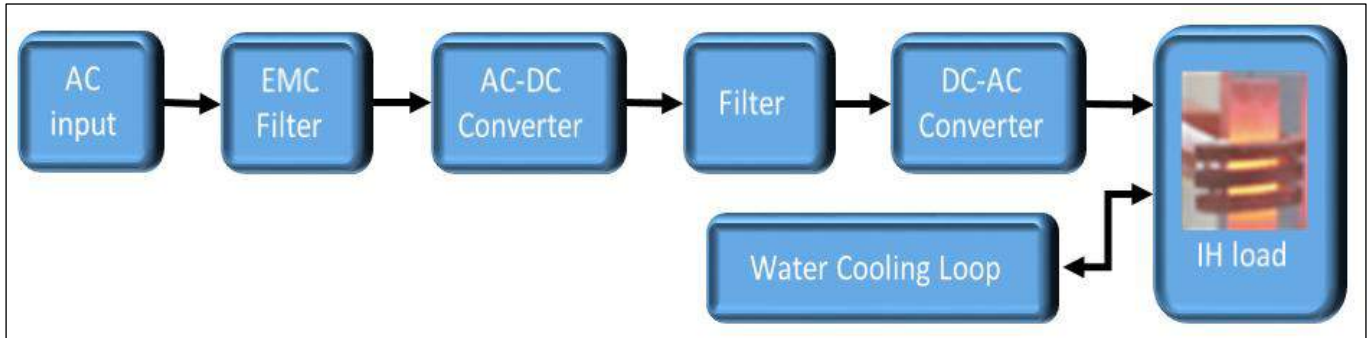


Figure 1. Power Conversion Flow in an Induction Heating System

In industry, power electronics-based devices that contain semiconductor elements are one of the non-linear loads. Such and similar loads disrupt the sinusoidal form of voltage and current and create a harmonic effect (Gökozan, 2019). Waves other than the fundamental voltage and current frequency are called “harmonic” (Gökozan, 2011). Therefore, it is necessary to eliminate the effects of harmonics in order to provide that the power quality of the system is at the desired value. Harmonics which are one of the most important parameters in the field of energy/power systems determine the power quality (Vatansever & Kuyu, 2019), (Yumusak et al, 2004). Poor power quality may cause manufacturing interruptions, loss of production, product damage, energy waste and decreased equipment life (Gökozan et al, 2015), (Taskin & Gokozan, 2011).

affect power quality (Karmaker et al, 2019). Methods for measuring and interpreting electrical parameters in 50/60 Hz power systems are defined in IEEE-519-1992, EN 50160, IEC 61000-4-7 and IEC 61000-4-30 standards. There are various signal processing techniques used to determine the properties of electrical signals. Power quality is analyzed using techniques such as artificial intelligence, heuristic optimization, and signal processing. The most active methods in optimization, artificial intelligence and signal processing are Genetic Algorithms, Particle Swarm Optimization, Artificial Neural Network, Fuzzy Logic, Wavelet Transform and Fourier analysis.

Power quality problems in a plant can be caused either by the distorting effects produced by another consumer or by the distorting effects caused by devices operating in their plant (Sallam & Malik, 2019). Chargers and charging stations used to charge the batteries of electric vehicles produce harmonics and

Comprehensive literature review on digital signal processing, artificial intelligence, optimization techniques and their applications in the classification of PQ disorders is presented in the references (Khokhar et al, 2015), (Mahela et al, 2015), (Granados-Lieberman et al, 2011), (Montoya et al, 2016). The final state of signal processing techniques used for feature extraction of PQ distortions is shown in Figure 2 (Khokhar et al, 2015).

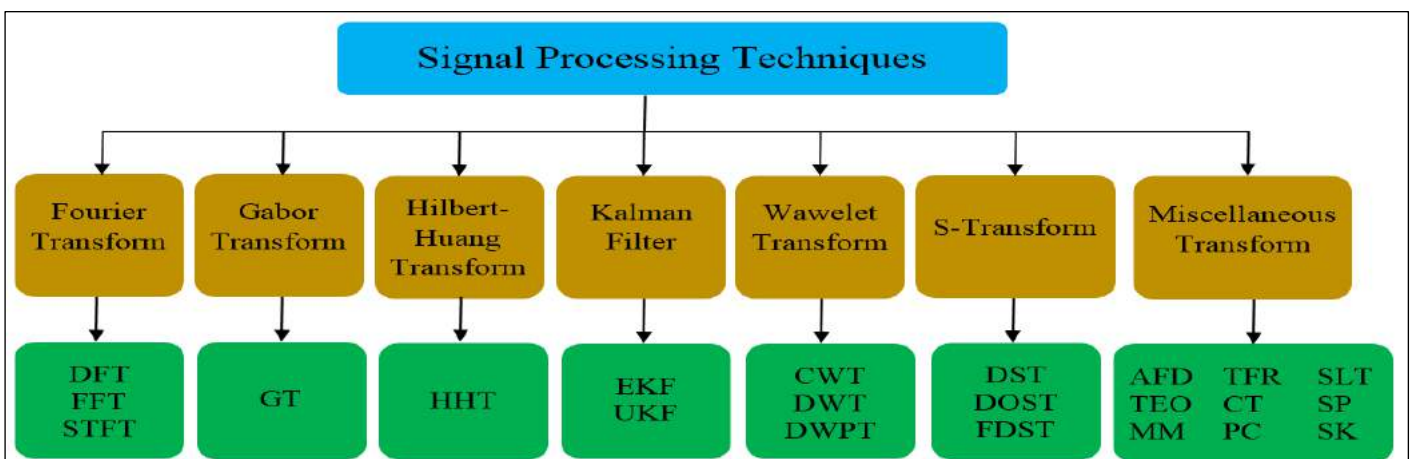


Figure 2. The Final State of Signal Processing Techniques

2. Material and Method

The analysis in this study is based upon the Fourier based techniques like power spectral density calculation and Discrete Fourier Transform approach. Fast Fourier Transform (FFT) and DFT are widely used for harmonic analysis due to its effectiveness in measurement. DFT is used to determine the properties of electrical signals. More information on the mathematical background of this study is presented in the reference (Gökozan et al, 2015).

The analysis of this current signal, which involves the fundamental component and harmonic components obtained in the filter output, is conducted with the DFT method suggested by IEC. The DFT analysis took N=1000 samples as the reference for t=0.2s, and used T=10/ f windows with 5 Hz resolution for f=50 Hz, as suggested in IEC 61000-4-7. The Total Harmonic Distortion (THD) is calculated with the formula given in Equation 1(Gökozan, 2011).

$$THD_{(I)} = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}{I_1^2}} \quad (1)$$

Where;

$THD_{(I)}$: Total Harmonic Distortion of the current,
 I_n : Effective value of n. order of harmonic in the load current,
 I_1 : Effective value of the load current in the fundamental frequency,
 n : Harmonic order.

2.1. Measurement System

The measurement system is designed with LabVIEW™ graphical program. The necessary information about this system is clearly described in reference (Gökozan et al, 2015), (Gökozan, 2011), (Taştan et al, 2015) and (Taskin & Gokozan, 2011). With this system, Power quality values of electrical power systems can be measured.

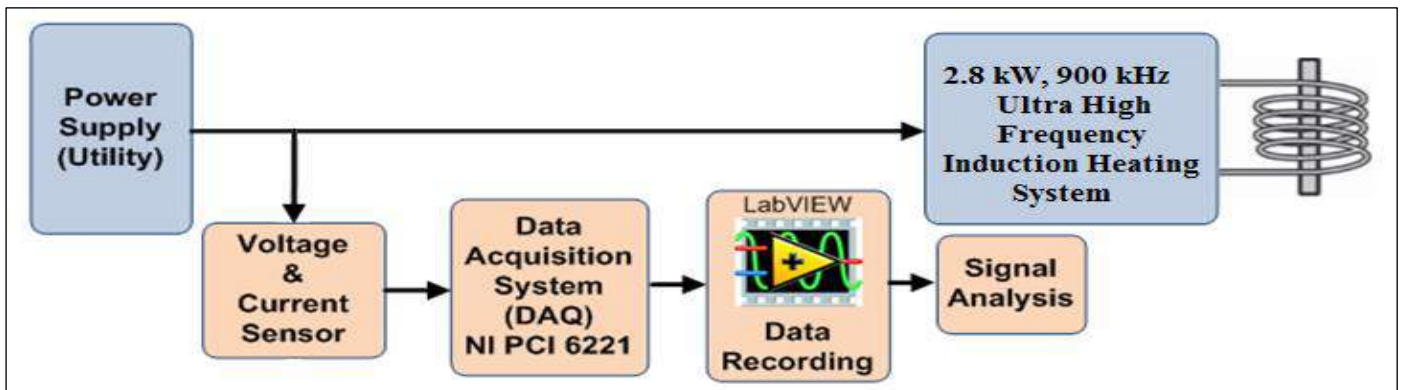


Figure 3. Power Quality Measurement System Set-Up

During the measurement, the necessary operations are performed with the help of real-time data. The system set-up is shown in Figure 3 and see Figure 4 and References (Gökozan et

al, 2015), (Gökozan, 2011), (Taştan et al, 2015), (Taskin & Gokozan, 2011), (Gokozan et al, 2016), (Taştan, 2019) for the user interface.

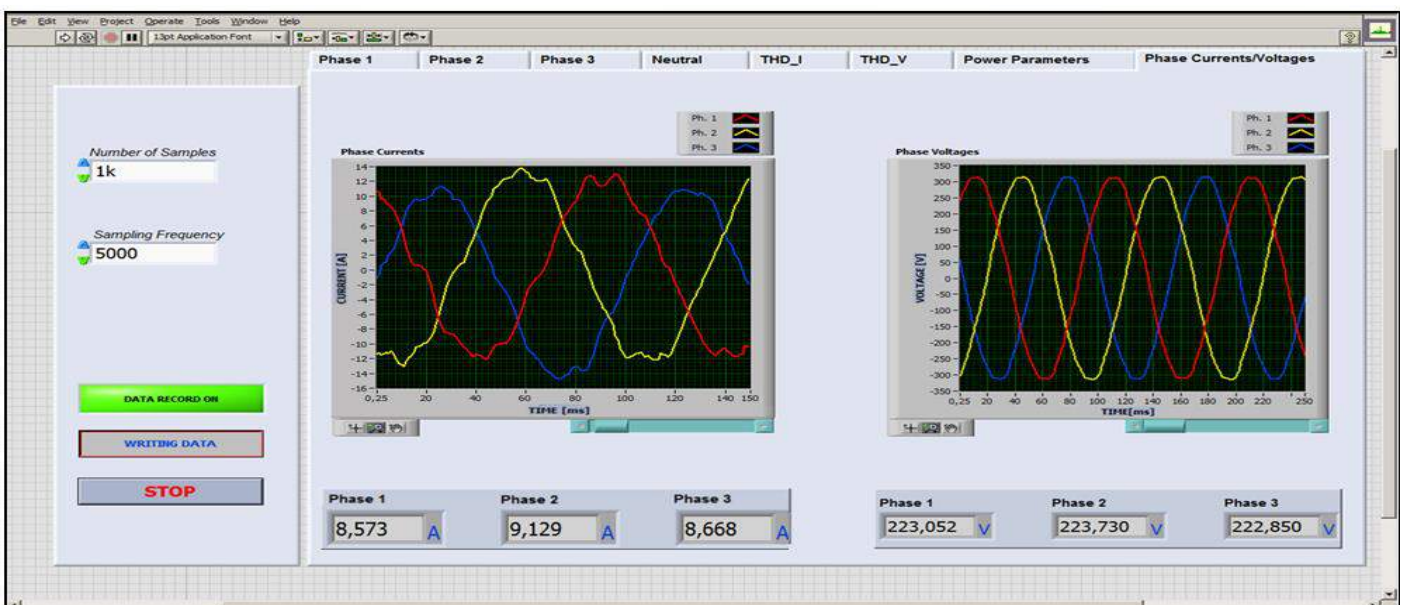


Figure 4. The Power Quality Measurement System User Interface

3. Results and Discussion

The related standards are taken into account during the measurements. In order to analyze up to 50th harmonic, data are measured with a sampling rate of 5000 S / s. Titanium material

with a diameter of 16 mm and a height of 5 mm was heated to 700 °C degrees. The temperature of the material was measured and fixed by an infrared laser thermometer (± 5 °C). The Current-Time graph obtained from the data collected during the study is given in Figure 5.

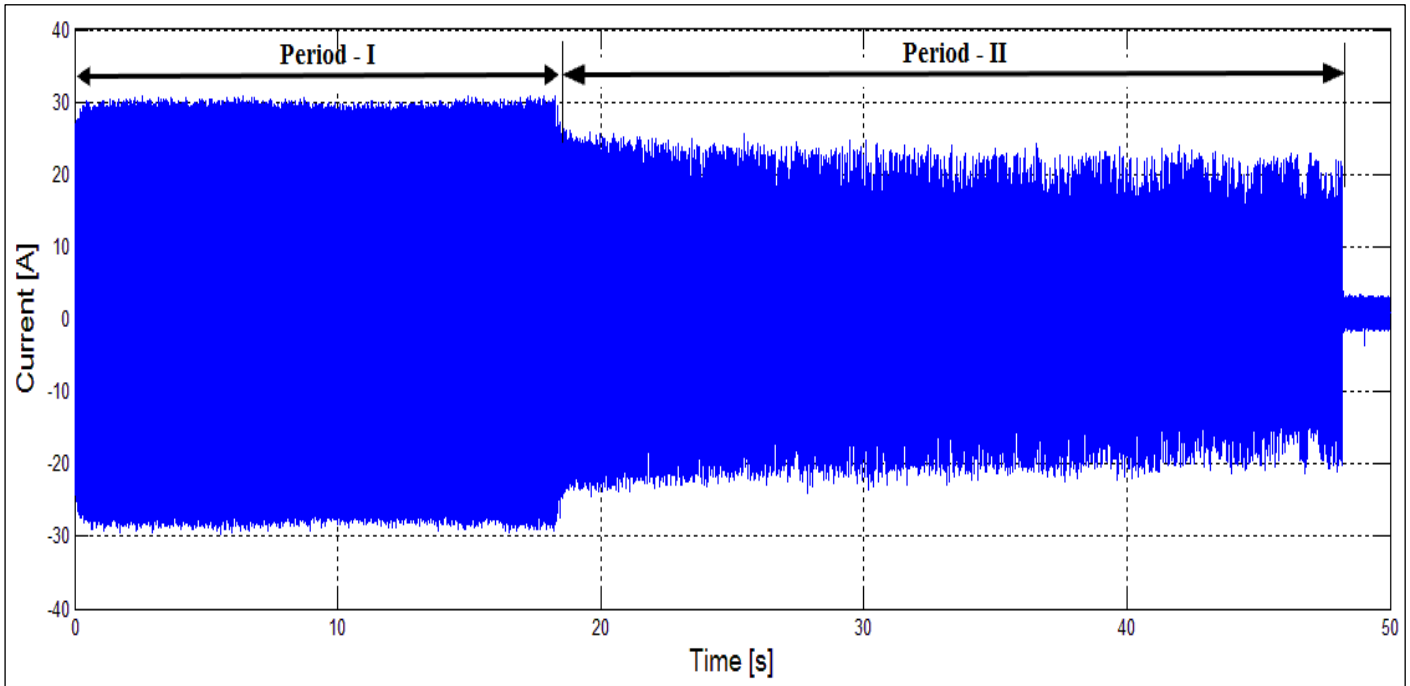


Figure 5. Current Change of the Induction Heating System Under 700 °C.

Figure 5 clearly shows that the current and power consumption of the heating system is high in the first 18 seconds (Period-I) but is lower in the next period (Period-II). Period I specifies the time for the titanium material to be heated to reach 700 ° C and period II refers to the time after the material reaches the desired temperature level (Taştan et al, 2015).

Figure 6 and Figure 7 shows DFT frequency spectrum of the Period-I and Period-II current signals. When the DFT frequency spectrum is analyzed, it is seen that the 3rd (150 Hz), 5th (250 Hz), and 7th (350 Hz) harmonic components are quite higher than 10 %, while the others are below 10 %. Values of below 5% are not shown in this figures.

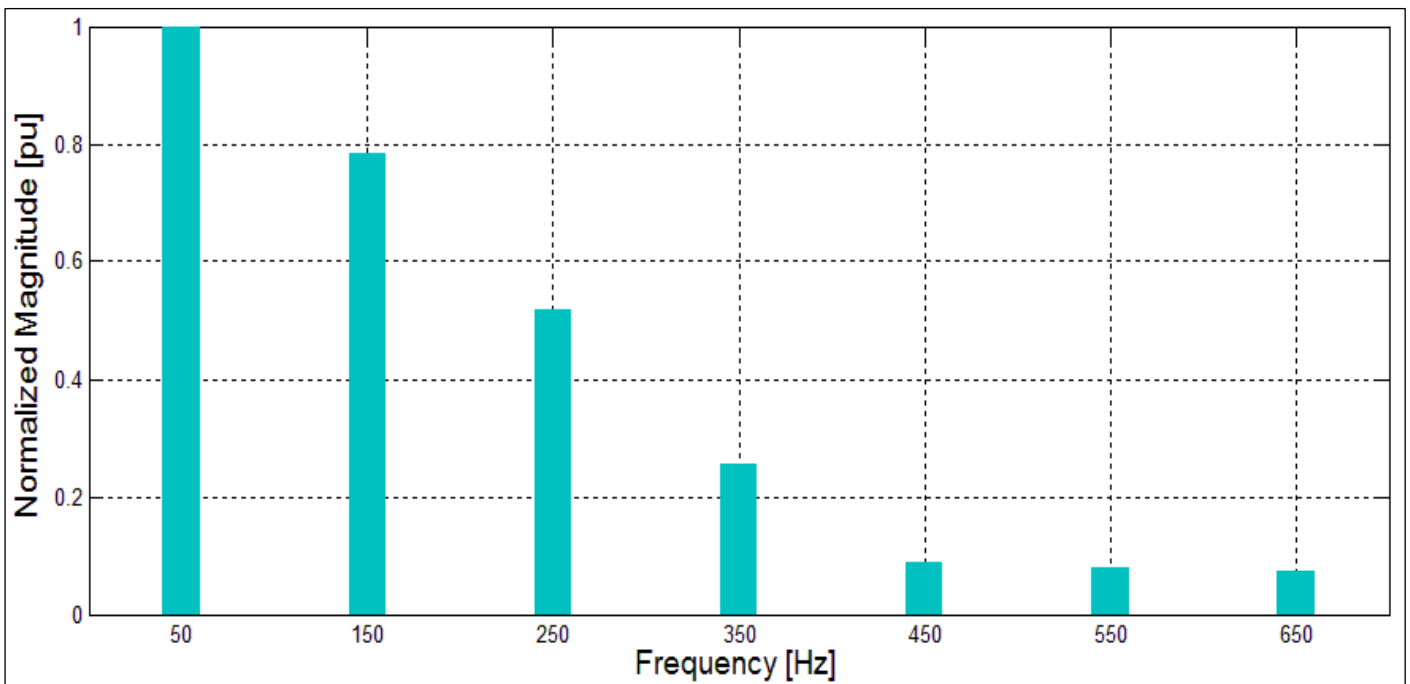


Figure 6. Frequency Spectrum for Period-I Current Signal

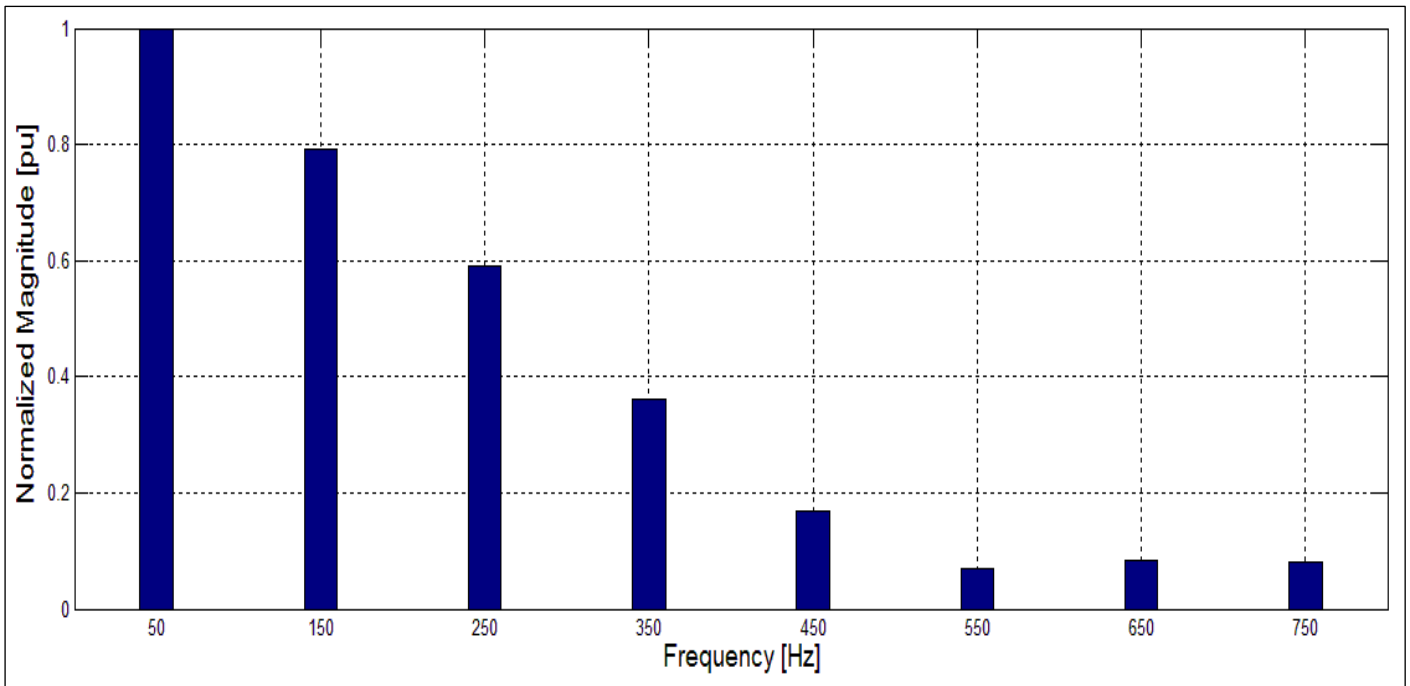


Figure 7. Frequency Spectrum for Period-II Current Signal

The current amplitudes in period I and period II are different. This is related to the power consumption of the induction system. When the harmonic components are examined for both periods, there will be differences. This is directly related to the switching frequencies and operating characteristics of the power electronics elements. Although the amplitude of the current is thought able to require a large harmonic distortion but this value is smaller in stable working.

This study was carried out to determine the 900 kHz, 2.8 kW Ultra High Frequency Induction Heating System (UHFIHS) Power Quality (PQ) parameters during the heat treatment of TI-6Al-4V based material, and it is the first because it was done with the DFT method.

4. Conclusions and Recommendations

This study was conducted to determine the Power Quality (PQ) parameters of this system (UHFIHS) during heat treatment of TI-6Al-4V based material. The data collected were analyzed by

Discrete Fourier Transform (DFT) and the effect of the device on power quality parameters during operation was examined.

When the DFT frequency spectrum is analyzed, it is seen that the 3rd harmonic (150 Hz) value was 78%, 5th harmonic (250 Hz) value was 50%, 7th harmonic (350 Hz) value was 24%, 9th harmonic (450 Hz) value was 9%, 11th harmonic (550 Hz) was 8% and 13th harmonic (650 Hz) was 7% in the Period I.

On the other hand it is seen that the 3rd harmonic (150 Hz) value was 79%, 5th harmonic (250 Hz) value was 59%, 7th harmonic (350 Hz) value was 36%, 9th harmonic (450 Hz) value was 18%, 11th harmonic (550 Hz) was 10%, 13th harmonic (650 Hz) was 12% and 15th harmonic (750 Hz) was 13% in the Period II.

As a result of the calculations, the total harmonic distortion in the UHFIHS was 96% in period I and 108% in period II. This values is shown in Table 1. These values are much higher than the permissible total harmonic distortion values (6%).

Table 1. Harmonic And THD Values For Period I and Period II.

Period	Harmonic Values %							THD (%)
	3 rd (150 Hz)	5 th (250 Hz)	7 th (350 Hz)	9 th (450 Hz)	11 th (550 Hz)	13 th (650 Hz)	15 th (750 Hz)	
I	78	50	24	9	8	7	3	96
II	79	59	36	18	10	12	13	108

In such systems, harmful harmonics should be eliminated using appropriate active or passive filters. While calculating of the harmonic filters, it will be possible to eliminate harmful harmonics in both periods by using the values in the 2nd period. Especially the 3rd, 5th, 7th, 9th and 11th harmonics should be filtered. Otherwise, devices that produce such high harmonic

values may adversely affect other networked devices. It is recommended to eliminate the 3th, 5th, 7th, 9th and 11th harmonics with the highest effect value. As a result of the calculations to eliminate these harmonics, the following 5 Passive filters values were found. Table 2 shows these values.

Table 2. Passive Filter Values Required For Eliminate to Specified Harmonics.

Harmonic Value (th)	Resonance Frequency (Hz)	Capacitor Value (kVAr)	Inductance Value (mH)	Resistor Value (Ohm)
3	120	0,25	1,41	3,1
5	210	0,25	0,46	0,96
7	320	0,25	0,2	0,38
9	410	0,25	0,12	0,25
11	520	0,25	0,08	0,2

In industry, power electronics based loads containing semiconductor elements create a harmonic effect by distorting the sinusoidal form of voltage and current. In such systems, harmful harmonics should be eliminated using appropriate active or passive filters. In this way, production interruptions, loss of production and energy, product damage and shortening of equipment life will be prevented.

References

- Arrillaga, J., Watson, N. R., & Chen, S. (2000). Power system quality assessment. Wiley.
- Çavdar, U. (2014). Mechanical properties of hot forged ANSI 1050 steel. *Materials Testing*, 56(3), 208-212.
- Gokozan, H., Tastan, M., Taskin, S., Cavdar, P. S., & Cavdar, U. (2016). Comparison of electrical energy consumption for different material processing procedures. *Materials Testing*, 58(11-12), 1009-1013.
- Gökozan, H. (2011). Power quality monitoring and analysis of industrial factories and optimum harmonic filter selection. Dissertation, Sakarya University Pure and Applied Sciences.
- Gökozan, H. (2019). Determination of Power Quality Parameters of a Three Phase Induction Motor Operated With Inverter, MAS International European Conference on Mathematics-Engineering-Natural&Medical Sciences-X, İzmir, Türkiye, pp 212-218
- Gökozan, H., Taskin, S., Seker, S., & Ekiz, H. (2015). A neural network based approach to estimate of power system harmonics for an induction furnace under the different load conditions. *Electrical Engineering*, 97(2), 111-117. DOI: 10.1007/s00202-014-0320-3.
- Granados-Lieberman, D., Romero-Troncoso, R. J., Osornio-Rios, R. A., Garcia-Perez, A., & Cabal-Yepez, E. (2011). Techniques and methodologies for power quality analysis and disturbances classification in power systems: a review. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 5(4), 519-529. DOI: 10.1049/iet-gtd.2010.0466
- Karmaker, A. K., Roy, S., & Ahmed, M. R. (2019). Analysis of the Impact of Electric Vehicle Charging Station on Power Quality Issues. In 2019 International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering (ECCE) (pp. 1-6). IEEE. DOI:10.1109 / ECACE. 2019. 8679164
- Khokhar, S., Zin, A. A. B. M., Mokhtar, A. S. B., & Pesaran, M. (2015). A comprehensive overview on signal processing and artificial intelligence techniques applications in classification of power quality disturbances. *Ren. and Sustainable Energy Reviews*, 51,1650-1663. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.068>
- Mahela, O. P., Shaik, A. G., & Gupta, N. (2015). A critical review of detection and classification of power quality events. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 495-505. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.070>
- Montoya, F. G., García-Cruz, A., Montoya, M. G., & Manzano-Agugliaro, F. (2016). Power quality techniques research worldwide: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 846-856.
- Sallam, A. A., & Malik, O. P. (2019). Electric Power Quality. DOI: 10.1002 / 9781119509332.ch11.
- Taskin, S., & Gokozan, H. (2011). Determination of the Spectral Properties and Harmonic Levels for Driving an Induction Motor by an Inverter Driver under the Different Load Conditions. *Elektronika ir Elektrotechnika*, 108 (2), 75–80. <http://dx.doi.org/10.5755/j01.eee.108.2.149>.
- Taştan, M. (2019). Adaptive Notch Filter Bank Based Power Quality Analysis of an Ultra-High Frequency Induction Heating System. *Balkan Journal of Electrical and Computer Engineering*, 7(2), 131-136.
- Taştan, M., Gökozan, H., Taşkin, S., & Çavdar, U. (2015). Comparative energy consumption analyses of an ultra high frequency induction heating system for material processing applications. *Revista de metalurgia*, 51(3), e046. doi: <http://dx.doi.org/10.3989/revmetalm.046>
- Vatansever, F., & Kuyu, Y. C., (2019) the harmonic elimination in inverters with metaheuristic approaches. *Uludağ University Journal of the Faculty of Engineering*, 24(3), 383-396.
- Yumusak N., Temurtas F., Gunturkun R. (2004) Harmonic Detection Using Neural Networks with Conjugate Gradient Algorithm. In: Bussler C., Fensel D. (eds) *Artificial Intelligence: Methodology, Systems, and Applications*. AIMS 2004. Lecture Notes in Computer Science, vol 3192. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-30106-6_31



Mikrodalga Destekli Çinko Borat Sentezi ve Karakterizasyonu

Hikmet Okkay^{1*}

¹ Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Yalova, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4711-8351), hokkay@yalova.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 15 Eylül 2020 ve Kabul Tarihi 6 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.795269)

ATIF/REFERENCE: Okkay, H., (2021). Mikrodalga Destekli Çinko Borat Sentezi ve Karakterizasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 31-36.

Öz

Çinko borat, polimerik malzemeler başta olmak üzere birçok malzemenin bileşiminde, alev geciktirici ve duman önleyici özelliğinden dolayı kullanılmaktadır. Çinko boratlar, çözünebilir çinko ve bor tuzlarının sulu çözeltilerde gerçekleştirilen reaksiyonuyla ya da katı çinko oksidin borik asitle yine sulu ortamda ve yüksek sıcaklıklarda reaksiyonu ile üretilmektedir. Bu çalışmada, çinko oksit (ZnO) ve borik asitten (H₃BO₃), sulu ortamda gerçekleştirilen katı-sıvı faz reaksiyonu ile çinko borat üretiminde mikrodalga enerjisi kullanılarak, yöntemin reaksiyon süresi, verimi ve ürün özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Mikrodalga destekli yöntemden elde edilen optimum reaksiyon şartları, geleneksel yöntem için kullanılarak her iki metot karşılaştırılmıştır. Mikrodalga destekli yöntemde en yüksek dönüşüm % 92,3 olarak, 140 Watt mikrodalga gücünde, 90 °C sıcaklıkta, 120 dakika reaksiyon süresinde, 350 rpm karıştırma hızında ve 7,5:1 H₃BO₃:ZnO oranında elde edilmiştir. Optimum değerler kullanılarak gerçekleştirilen geleneksel yöntemle elde edilen çinko borat dönüşümü % 71,5 olarak bulunmuştur. Yüksek dönüşümün yanısıra mikrodalga enerjisinin sağladığı homojen ve doğrudan bir ısıtma şartları ile daha uniform yapıda ve yüksek kristaliniteye ürün elde edilmiştir. Buna bağlı olarak yüksek dehidrasyon hızı ile alev geciktirici özelliği daha etkin çinko borat örnekleri elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mikrodalga enerjisi, Çinko borat, Borik asit, Alev geciktirici

Microwave Assisted Zinc Borate Synthesis and Characterization

Abstract

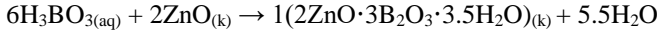
Zinc borate is used in the composition of many materials, especially polymeric materials, due to its flame retardant and anti-smoke properties. Zinc borates are produced by the reaction of soluble zinc and boron salts in aqueous solutions or by the reaction of solid zinc oxide with boric acid in an aqueous medium and at high temperatures. In this study, the effects of microwave energy on reaction time, yield, and product properties in zinc borate production were investigated by solid-liquid phase reaction from zinc oxide (ZnO) and boric acid (H₃BO₃) in the aqueous medium. The optimum reaction conditions obtained from the microwave assisted method were used for the conventional method and both methods were compared. The highest conversion as 92,3% was obtained in the microwave assisted method, at 140 Watt microwave power, 90 ° C temperature, 120 minutes reaction time, 350 rpm stirring speed, and 7.5:1 H₃BO₃: ZnO ratio. The zinc borate conversion obtained by the conventional method using optimum values was found to be 71.5%. In addition to high conversion, a homogeneous and direct heating conditions provided by microwave energy yielded a more uniform structure and high crystallinity. Accordingly, as a result of the high dehydration rate, zinc borate samples with more effective flame retardant properties were obtained.

Keywords: Microwave energy, Zinc Borate, Boric acid, Flame retardant.

* Sorumlu Yazar: Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, 77200, Yalova, Türkiye, ORCID: 0000-0002-4711-8351, hokkay@yalova.edu.tr

1. Giriş

Endüstride birçok uygulama alanı bulunan Çinko borat, özellikle pvc, halojenli polyester ve naylonlarda alev geciktirici, duman bastırıcı ve korozyon önleyici olarak kullanılmakta olup bununla birlikte yüksek sıcaklıklara dayanıklı plastik malzemelerin imalatında, elektrik/elektronik parçalarda, kablolarda, yanmaya dayanıklı boyalarda, tekstil ve kâğıt endüstrisinde de sıklıkla kullanılmaktadır (İpek, 2020). Çinko borat, ısıya maruz kaldığında, yanıcı malzemelerin salınmasını engelleyen bir karbonizasyon oluşumu sağlar ve ayrıca yapısında bulunan bağlı suyun dehidrasyonu ile alev geciktirici ve duman bastırıcı özellik gösterir (Ata ve ark., 2011). Yapısında bulunan Çinko, Bor ve Su oranlarına bağlı olarak birçok farklı formülasyonu bulunmakla beraber yüksek alev geciktirici özelliklerinden dolayı genellikle $2ZnO \cdot 3B_2O_3 \cdot 3.5H_2O$ ve $2ZnO \cdot 3B_2O_3 \cdot 7H_2O$ molar oranına sahip olanlar daha çok kullanılmaktadır (Ting ve ark., 2009). Bu molar orandaki farklılıklar reaksiyon şartlarına bağlı olarak değişmektedir. Çinko borat genellikle çinko oksit ile borik asidin reaksiyonu ile üretilir (Cui ve ark., 2012).



Günümüzde ürün özelliklerini geliştirmek, reaksiyonları hızlandırmak, maliyetleri azaltmak gibi çeşitli avantajları sağlamak için birçok proses ve reaksiyonda, mikrodalga enerjisinden faydalanılmaktadır (Nüchter ve ark., 2003). Mikrodalga enerjisi, elektrik ve manyetik alan komponentleri ihtiva eden elektromagnetik dalgalardır. Elektromagnetik dalga olduklarından dolayı birbirine dik yönde etkiyen elektrik ve manyetik alan bileşenlerine sahiptirler (Kuşlu ve Çavuş, 2008). Bir yağ banyosu veya benzeri bir cihaz kullanarak dolaylı enerji aktarımının aksine, mikrodalga enerjisinin reaksiyon karışımı ile doğrudan etkileşimi ile çok kısa bir sürede reaksiyonlar gerçekleştirme olasılığı, enerji tüketimindeki azalmanın yanısıra zaman tasarrufu sağlamasıyla verimlilik artışına önemli katkılar sağlamaktadır (Dallinger ve Kappe, 2007; Bekdeşer, 2019; Akyüz ve ark., 2015).

Mikrodalga ışımalarının kimyasal reaksiyonlardaki etkisi, termal etki (aşırı ısınma, sıcak noktalar ve seçici ısıtma) ve termal olmayan etkinin (yüksek polarizasyon) bir kombinasyonudur ve bu etkilerin bir sonucu olarak hareketlilik ve difüzyonun artması moleküllerin birbirleriyle etkili bir şekilde temasını sağlamaktadır (Hoz ve ark., 2005).

Çinko borat üretimi, literatürde (Shi ve ark., 2008a; Shi ve ark., 2008b; Shi ve ark., 2009; Gönen ve ark., 2011; Eltepe ve ark., 2007; Gürhan ve ark., 2009) farklı yaklaşım ve teknikler kullanılarak incelenmiştir. Çalışmalarda, elde edilen ürünün özellikleri ve reaksiyonda etkili olan sıcaklık, karıştırma hızı, reaktan oranı, süre gibi parametreler ve optimizasyonu araştırılmıştır. Genel olarak 70 °C ile 100 °C arasında değişkenlik gösteren bir sıcaklık aralığında ve 2 ila 6 saat süren reaksiyon şartlarında elde edilebilen çinko borat için yapılan bir çalışmada (Ata ve ark., 2011), optimum reaksiyon şartları, 766 rpm karıştırma hızı, 85 °C sıcaklık, 10:1 $H_3BO_3:ZnO$ oranı ve 183 dakika reaksiyon süresi olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada, çinko oksit (ZnO) ve borik asitten (H_3BO_3) sulu ortamda gerçekleştirilen katı-sıvı faz reaksiyonu ile çinko borat üretiminde mikrodalga enerjisi kullanılarak, yöntemin reaksiyon süresi, verimi ve ürün özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Denemeler için ilk olarak, borik asidin 25 °C sıcaklıktaki stokiyometrik miktarları saf suda 20 dakika karıştırılarak çözümleri sağlanmıştır. Çinko oksidin tam dönüşümünün sağlanması için borik asidin fazlası kullanılmıştır. Reaksiyon ortamına toplam çözelti miktarının % 1'i olacak şekilde çinko borat eklenerek kristallenme oluşumunu başlatması sağlanmıştır. Bunu takiben, incelenmesi düşünülen oranlara göre stokiyometrik olarak hesaplanan miktarlardaki çinko oksit, borik asit (A.Aesar, %99) çözeltisine eklenerek hem geleneksel yöntemle hem de mikrodalga destekli yöntemle reaksiyonlar gerçekleştirilmiştir. Her iki yöntem sonunda da üretilen çinko borat içerisindeki serbest olarak kalan borik asidi uzaklaştırmak amacıyla yıkama ve kurutma işlemi uygulanmıştır.

Mikrodalga destekli yöntemde laboratuvar kullanımına uygun hale getirilen (LG, 1200 Watt, 17 lt) mikrodalga cihazı kullanılmıştır. Reaksiyon sıcaklığı, mikrodalga ortamında kullanılabilen fiber optik sıcaklık probuna sahip sıcaklık ölçer (Optocon-TS3) ile takip edilmiştir. Mekanik karıştırma, mikrodalga ile etkileşime girmeyen teflon shaft ve kanatçık ile sağlanmıştır. Denemeler iki boyunlu 250 ml hacmindeki balon reaktörde gerçekleştirilmiştir. Ani (aşırı) ısınmanın önüne geçmek ve sıcaklık kontrolünün hassas bir şekilde sağlanması için mikrodalga gücü 140 W olacak şekilde sabit tutulmuş olup, ön denemeler ve literatür verilerinden faydalanılarak belirlenen değişken seviyelerine sahip diğer proses değişkenleri, ($H_3BO_3:ZnO$ oranı, süre ve karıştırma hızı), tek seferde tek değişken (one variable at a time) yöntemine göre incelenmiştir. Mikrodalga sistemlerinde izotermal şartların sağlanması güç olduğundan denemeler, reaksiyon ortamının mikrodalga enerjisini maksimum seviyede ve sürekli olarak absorblayabilmesi için, minimum mikrodalga gücünde ve tek bir sıcaklıkta, 90 °C de (± 3 °C) de gerçekleştirilmiştir. Güç ve sıcaklık manuel olarak kontrol edilerek belirlenen sıcaklık değerleri +/- yönünde aşılır aşılmaz, enerji kesilip/verilerek proses gerçekleştirilmiştir.

Mikrodalga destekli yöntemden elde edilen optimum reaksiyon şartları, geleneksel yöntem için kullanılarak her iki metot karşılaştırılmıştır. Optimum şartların belirlenmesinde yanıt (response) olarak reaksiyondaki çinko oksidin dönüşümü oranı (% X_{ZnO}) kullanılmıştır.

Çalışmada belirlenen değişkenlerin inceleme seviyeleri tablo 1 de görülmekte olup, her seri deneme sonunda belirlenen değişkenin en iyi sonuç alınan değeri, bir sonraki deneme serisinde sabit alınmak suretiyle denemeler gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Mikrodalga etkisi altında çinko borat sentezi için incelenen değişkenler ve seviyeleri

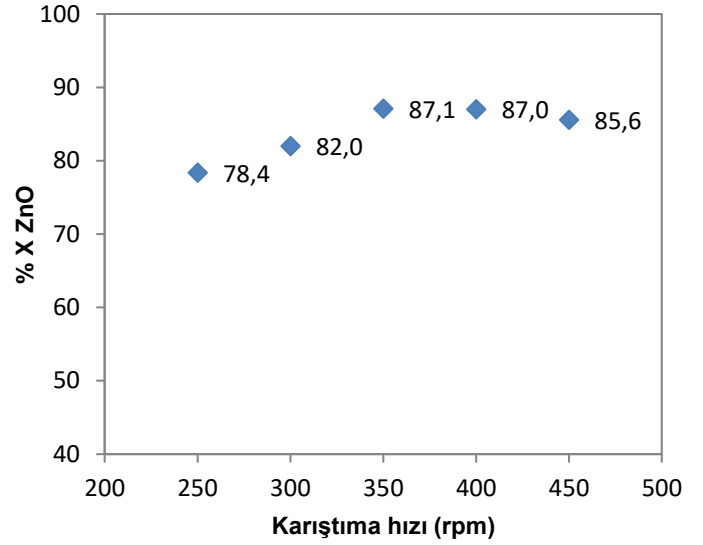
Değişkenler	Düşük seviye		Yüksek seviye		
$H_3BO_3:ZnO$ oranı (%)	3:1	4,5:1	6:1 ^a	7,5:1	9:1
Reaksiyon süresi (dk.)	40	60	80 ^a	100	120
Karıştırma hızı (rpm)	250	300	350 ^a	400	450

^aBaşlangıç deney koşulları

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Reaksiyon Süresinin Etkisi

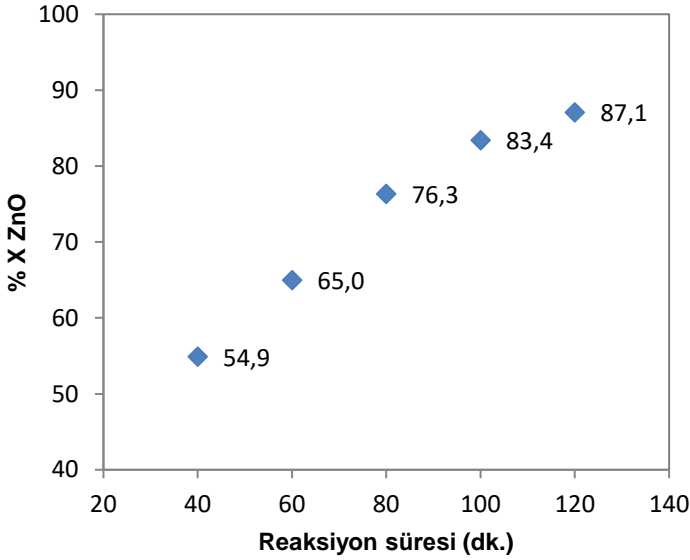
Tablo 1’ de verilen değerlere göre optimum reaksiyon süresini bulmak için başlangıç deney koşullarında, farklı sürelerde denemeler gerçekleştirildi. Şekil 1’de görüldüğü gibi 140 Watt mikrodalga gücünde, 90 °C reaksiyon sıcaklığında, 6:1 $H_3BO_3:ZnO$ oranında ve 350 rpm karıştırma hızında, en yüksek dönüşüm 120 dakikalık deney süresinde % 87,1 olarak elde edildi. Literatür sonuçları ile karşılaştırıldığında, uygulanan deneme şartları altında elde edilen bu dönüşüm oranı, süre açısından mikrodalga enerjisi kullanmanın oldukça etkili bir yöntem olduğunu ortaya koymaktadır. Ortalama olarak 180 ila 360 dakika aralığında tamamlanabilen reaksiyonun, mikrodalga enerjisi ile daha kısa sürelerde gerçekleşebilmesi, mikrodalga enerjisinin reaksiyon karışımı ile doğrudan etkileşimi ve bu etkileşimin bir sonucu olarak oluşan sıcak noktaların yanısıra, hareketlilik ve difüzyonun artması ile moleküllerin birbirleriyle etkili bir şekilde temasını sağlamasının bir sonucu olarak düşünülebilir.



Şekil 2. Karıştırma hızının dönüşüme etkisi
(MW: 140 Watt, T: 90°C, $H_3BO_3:ZnO$ oranı: 6:1, süre:120 dk.)

3.3. $H_3BO_3:ZnO$ Oranı Etkisi

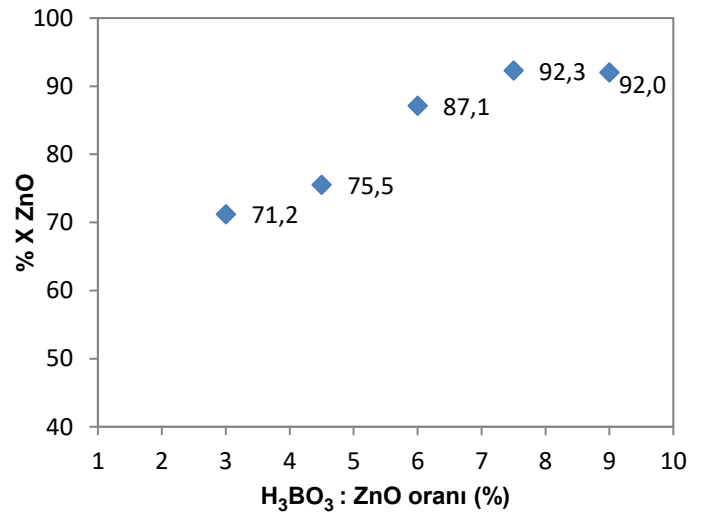
$H_3BO_3:ZnO$ oranının dönüşüm üzerindeki etkilerini incelemek için, ilk iki seri denemede en yüksek dönüşüm elde edilen 120 dakika süre, 140 Watt sabit mikrodalga gücü, 90 °C reaksiyon sıcaklığı ve 350 rpm karıştırma hızında, tablo 1 de belirlenen farklı $H_3BO_3:ZnO$ oranı değerlerinde denemeler gerçekleştirildi. Şekil 3 de ki grafikten incelendiğinde en yüksek dönüşüm % 92,3 ile 7,5:1 $H_3BO_3:ZnO$ oranında elde edildiği görülmektedir. Bu aynı zamanda üç seri halinde yapılan denemeler içinde de elde edilen en yüksek dönüşüm olup toplu olarak bakıldığında mikrodalga enerjisi altında gerçekleştirilen çinko borat sentezi için optimum şartlar; sabit 140 Watt mikrodalga gücünde ve 90 °C de, Reaksiyon süresi 120 dakika, karıştırma hızı 350 rpm ve 7,5:1 $H_3BO_3:ZnO$ oranı olarak elde edilmiştir.



Şekil 1. Reaksiyon süresinin dönüşüme etkisi
(MW: 140 Watt, T: 90°C, $H_3BO_3:ZnO$ oranı: 6:1,
Karıştırma hızı: 350 rpm)

3.2. Karıştırma Hızının Etkisi

Karıştırma hızının dönüşüm üzerindeki etkilerini incelemek için, ilk seri denemede en yüksek dönüşüm elde edilen 120 dakika süre, 140 Watt sabit mikrodalga gücü, 90 °C reaksiyon sıcaklığı ve 6:1 $H_3BO_3:ZnO$ oranı değerlerinde, tablo 1 de belirlenen farklı karıştırma hızlarında denemeler gerçekleştirildi. Şekil 2 de ki grafikten incelendiğinde genel olarak karıştırma hızı arttıkça dönüşümün arttığı, fakat 350 rpm hızından sonra çokta anlamlı olmayan bir değişimin olduğu görülmektedir. Kullanılan bu deney düzeneği boyutlarında, en yüksek dönüşüm % 87,1 ile 350 rpm karıştırma hızında elde edilmiştir.



Şekil 3. $H_3BO_3:ZnO$ oranının dönüşüme etkisi
(MW: 140 Watt, T: 90°C, Karıştırma hızı: 350 rpm,
Süre:120 dakika)

3.4. Her İki Yöntemin Karşılaştırılması

Geleneksel yöntem ile mikrodalga enerjisi kullanılan yöntemin karşılaştırılması için, mikrodalga yönteminden elde edilen optimum şartlar kullanılarak, aynı şartlar altında bir de geleneksel yöntemle çinko borat sentezi gerçekleştirilmiştir. Mikrodalga enerjisi kullanmadan gerçekleştirilen geleneksel yöntem ile reaksiyon dönüşüm oranı ancak % 71,5 olarak elde edilebilmiştir. Bu sonuç mikrodalga destekli çinko borat üretiminin daha verimli olduğunu ortaya koymaktadır.

Tablo 2: Optimum deney şartlarında Mikrodalga ve Geleneksel yöntem ile elde edilen sonuçlar

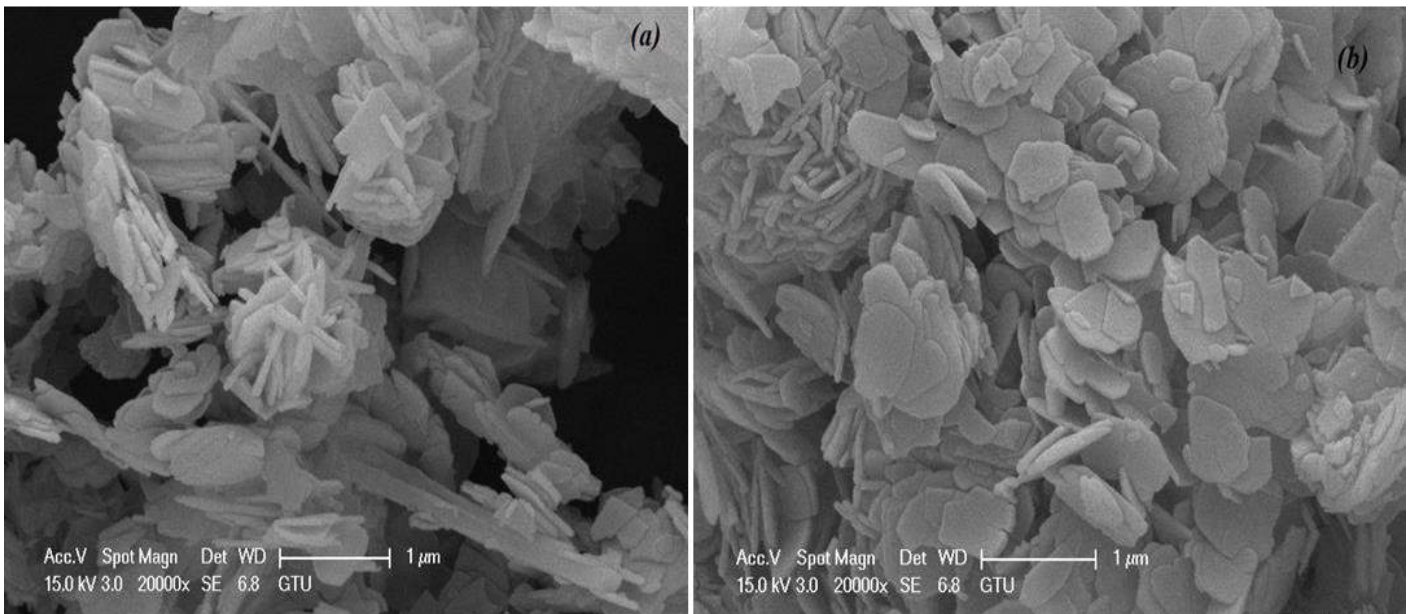
Metot	% Dönüşüm	Partikül tipi ve boyutu	Dehidrasyon sıcaklığı (°C)
Mikrodalga Yöntemi	92,3	Çokyüzlü (polyhedral) 0,1 µ – 0,4 µ	167
Geleneksel Yöntem	71,5	Çubuk (rod) 0,1 x 0,5 µ Çokyüzlü (polyhedral) 0,3 µ – 0,6 µ	162

Verim açısından karşılaştırılan iki yöntemin, elde edilen ürün özellikleri üzerindeki etkilerini de incelemek için, her iki yöntemle elde edilen çinko borat örneklerinin SEM (Quanta FEG 450), TGA (Seiko, TG/DTA 6300) ve XRD (Bruker) analizleri gerçekleştirilmiştir.

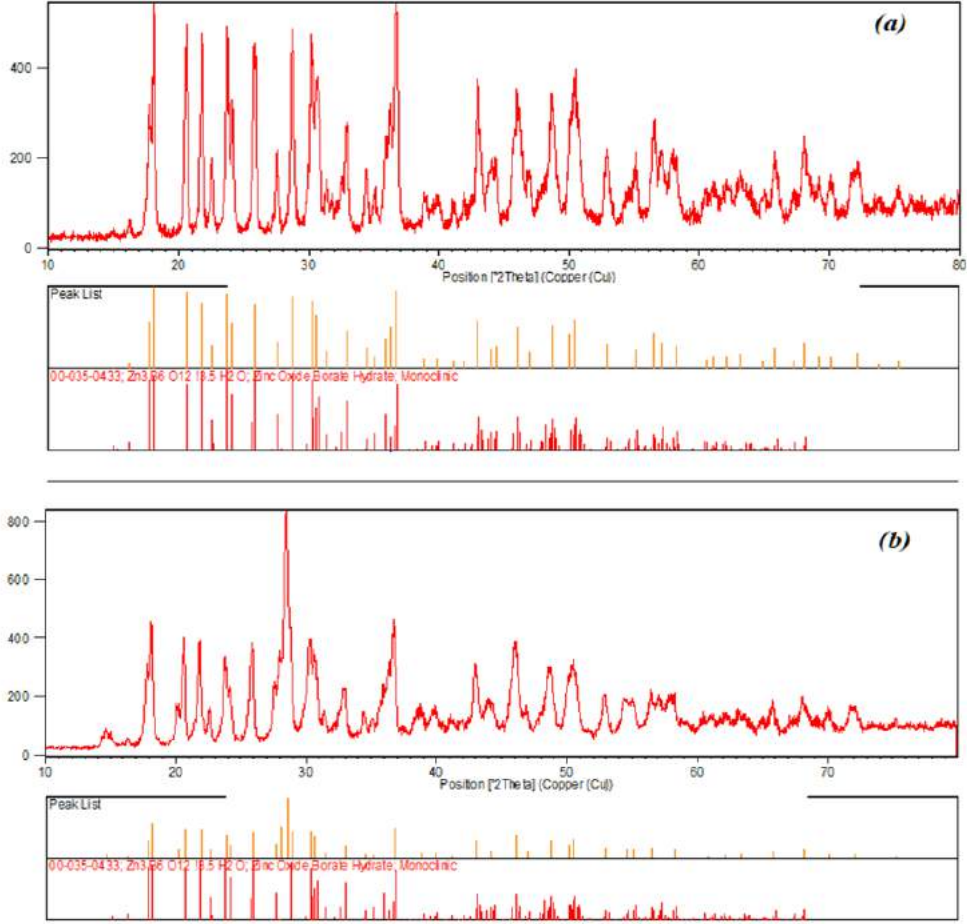
Şekil 4 teki SEM görüntüleri incelendiğinde, geleneksel yöntemle elde edilen çinko boratın yer yer aglomere olmuş, ortalama olarak 0,1µ x 0,5µ boyutlarında çubuk ve 0,3µ – 0,6µ boyutlarında çok yüzlü şekillerinin bir karışımı olduğu görülmekte, buna karşın mikrodalga yöntemiyle elde edilen çinko boratın ise ortalama 0,1µ - 0,4µ boyutlarında genel olarak çok yüzlü şeklinde ve nispeten uniform dağılımlı partiküllerden oluştuğu görülmektedir. Bu durum, mikrodalga'nın daha homojen ve doğrudan bir ısıtma sağlayabilmesi ile açıklanabilir.

0.15405 nm dalga boyunda ve Cu/K-α radyasyonlu difraktometrede 40kV ve 20mA değerinde, 20 ila 90° aralığında 4° dak.⁻¹ tarama hızında ölçümleri gerçekleştirilen numunelerin XRD diyagramları şekil 5 te görülmektedir. Her iki yöntemle elde edilen çinko borat numunelerinin XRD diyagramları incelendiğinde, veritabanı sonuçlarına göre elde edilen bileşiğin 3ZnO·3B₂O₃·3.5H₂O yapısında olduğu anlaşılmaktadır. Piklerin şiddet ve şekilleri incelendiğinde mikrodalga yöntemi ile elde edilen çinko boratın piklerinin, geleneksel yöntemle elde edilen çinko borat piklerine göre daha keskin ve daha şiddetli olduğu görülmekte, buda mikrodalga enerjisi ile aynı şartlarda daha yüksek kristaliniteye ürün elde edilebileceğini göstermektedir.

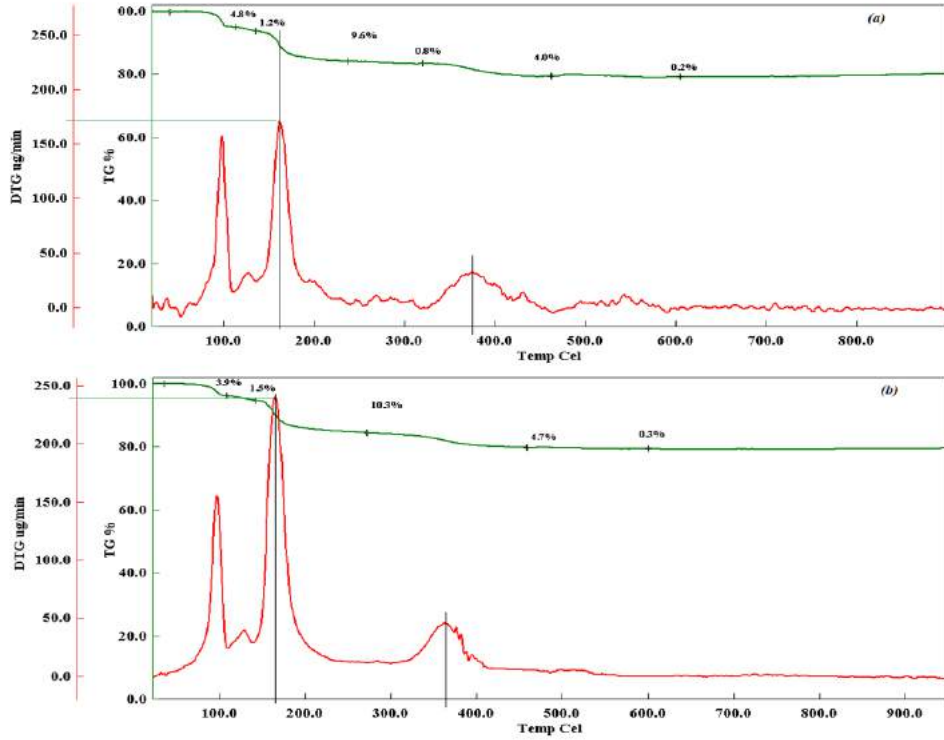
Şekil 6 da her iki yöntemle elde çinko borat örneklerinin TGA-DTG grafikleri görülmektedir. Grafikler incelendiğinde geleneksel yöntemle elde edilen çinko boratın dehidrasyon sıcaklığı ile mikrodalga destekli yöntemle elde edilen çinko boratın dehidrasyon sıcaklığı sırasıyla 162 °C ve 167 °C olduğu görülmektedir. Dehidrasyon sıcaklıkları birbirine yakın olmasına karşın, her iki numunenin zamanla ağırlık kaybı hızı karşılaştırıldığında, mikrodalga destekli yöntemle elde edilen çinko boratın ağırlık kayıp hızının geleneksel yöntemle elde edilen çinko borat ağırlık kayıp hızından 1,5 kat daha fazla olduğu görülmektedir. Buda mikrodalga destekli yöntemle daha etkili dehidrasyon özelliğine sahip çinko borat elde edilebileceğine ve bundan dolayı da daha etkili alev geciktirici özelliğe sahip ürün üretilabileceğini göstermektedir.



Şekil 4. Her iki yöntemle elde edilen çinko boratların SEM görüntüleri
(a) Geleneksel Yöntem (b) Mikrodalga Destekli Yöntem



Şekil 5. Her iki yöntemle elde edilen çinko boratların XRD grafikleri
(a) geleneksel yöntem, (b) mikrodalga destekli yöntem



Şekil 6. Her iki yöntemle elde edilen çinko boratların TGA-DTG grafikleri
(a) geleneksel yöntem, (b) mikrodalga destekli yöntem

4. Sonuç

Çalışmada, endüstride başta alev geciktirici olmak üzere birçok kullanım alanı bulunan çinko borat, mikrodalga enerjisi kullanılarak sentezlendi. Mikrodalga etkisi altında gerçekleştirilen yöntem için optimum reaksiyon şartlar tespit edildi. Elde edilen optimum değerler ile geleneksel yöntemle de sentez yapıp her iki yöntemle elde edilen ürün karşılaştırıldı. Mikrodalga destekli yöntemde en yüksek dönüşüm % 92,3 olarak, 140 Watt mikrodalga gücünde, 90 °C de, 120 dakika reaksiyon süresinde, 350 rpm karıştırma hızında ve 7,5:1 H₃BO₃:ZnO oranında elde edildi. optimum değerler kullanılarak gerçekleştirilen geleneksel yöntemle elde edilen çinko borat dönüşümü % 71,5 olarak bulundu. Bu sonuç mikrodalga kullanımı ile daha az enerji harcanarak daha yüksek dönüşümde ürün elde edilebileceğini ortaya koymaktadır. Yüksek dönüşümün yanısıra mikrodalga enerjisinin sağladığı homojen ve doğrudan ısıtma şartları ile daha uniform yapıda ve yüksek kristalinite de ürün elde edilmiştir. Buna bağlı olarak yüksek dehidrasyon hızı ile alev geciktirici özelliği daha etkin çinko borat örnekleri elde edilmiştir.

Kaynakça

- Akyüz, G., Yılmaz, F., Menteşe, E., (2015). Microwave-assisted synthesis of some Benzimidazole derivatives containing Imine function. *European Journal of Science and Technology*, 2(4):123-127.
- Ata, O.N., Şayan, E., Engin, B., (2011). Optimization and modeling of zinc borate 2ZnO·3B₂O₃·3.5H₂O production with the reaction of boric acid and zinc oxide. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 17:493-497.
- Bekdeşer, B., (2019). Yanıt yüzey metodolojisi kullanılarak dulavratotu (*Arctium Lappa*)’dan antioksidanların mikrodalga destekli ekstraksiyonunun modellenmesi ve optimizasyonu. *European Journal of Science and Technology*, 17:655-662.
- Cui, Y., Liu, X., Tian, Y., Wang, N.Z., (2012). Controllable synthesis of three kinds of zinc borates and flame retardant properties in polyurethane foam. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 414:274-280.
- Dallinger, D., Kappe, C.O., (2007). Microwave-assisted synthesis in water as solvent. *Chemical Reviews*, 107:2563-2591.
- Eltepe, H.E., Balkose, D., Ülkü, S., (2007). Effect of temperature and time on zinc borate species formed from zinc oxide and boric acid in aqueous medium. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 46:2367-2371.
- Gönen, M., Balköse, D., Ülkü, S., (2011). Supercritical ethanol drying of zinc borates of 2ZnO·3B₂O₃·3H₂O and ZnO·B₂O₃·2H₂O. *The Journal of Supercritical Fluids*, 59:43-52.
- Gürhan, D., Çakal, G.O., Eroğlu, I., Ozkar, S., (2009). Improved synthesis of fine zinc borate particles using seed crystals. *Journal of Crystal Growth*, 311:1545-1552.
- Hoz, A., Ortiz, A. D., Moreno, A., (2005). Microwaves in organic synthesis. Thermal and non-thermal microwave effects. *Chemical Society Reviews*, 34:164-178.
- İpek, Y., (2020). Effect of surfactant types on particle size and morphology of flame-retardant zinc borate powder. *Turkish Journal of Chemistry*, 44:214-223.
- Kuşlu, S., Çavuş, F., (2008). Mikrodalga enerjisinin analitik kimya sahasında ve katalizör hazırlamada kullanımı.

Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 14(3):267-277.

- Nüchter, M., Müller, U., Ondruschka, B., Tied, A., Launtenschlager, W., (2003). Microwave - Assisted Chemical Reactions. *Chem. Engineering Technology*, 26:1207-1216.
- Shi, X., Xiao, Y., Li, M., Yuan, L., Sun, J., (2008a). Synthesis of an industrially important zinc borate, 2ZnO·3B₂O₃·3H₂O, by a rheological phase reaction method. *Powder Technology*, 186:263-266.
- Shi, X., Yuan, L., Sun, X., Chang, C., Sun, J., (2008b). Controllable synthesis of 4ZnO·B₂O₃·H₂O nano-microstructures with different morphologies: influence of hydrothermal reaction parameters and formation mechanism. *Journal of Physical Chemistry C*, 112:3558-3567.
- Shi, X., Xiao, Y., Yuan, L., Sun, J., (2009). Hydrothermal synthesis and characterizations of 2D and 3D 4ZnO·B₂O₃·H₂O nano-microstructures with different morphologies. *Powder Technology*, 189:462-465.
- Ting, C., Cheng, D.J., Shuo, W.L., Gang, F., (2009). Preparation and characterization of nano-zinc borate by a new method. *Journal of Materials Processing Technology*, 209:4076-4079.



Manyetik Dişli Sisteminin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi

Sinan Başaran^{1*}

^{1*} Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bilecik, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-3783-2260),
sinan.basaran@bilecik.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 3 Kasım 2020 ve Kabul Tarihi 11 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.820561)

ATIF/REFERENCE: Başaran, S. (2021). Manyetik Dişli Sisteminin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 37-42.

Öz

Manyetik dişli sistemi sabit mıknatıslar yardımı ile elde edilen manyetik kuvvetler ile çalışan, klasik dişli sistemlerine alternatif olabilecek yapıya sahip bir aktarım elemanıdır. Giriş ve çıkış mili arasında tork iletmek için manyetik dişli sisteminde klasik dişlilerden farklı olarak mekanik bir temas olmadan iletim söz konusudur. Dolayısıyla sürtünme ortadan kaldırılmış olmaktadır. Sürtünmenin ortadan kalkması klasik dişli kutusu sistemlerine göre manyetik dişli sistemlerinin çok daha yüksek verimlerde çalışması manasına gelmektedir. Manyetik dişli sistemlerinde hareket ve tork iletimi temassız olarak gerçekleştiği için hiçbir zaman yağlama gerektirmez ve yağlamadan kaynaklanan sorunlar meydana gelmez. Geleneksel mekanik dişli kutusu sistemlerinde, çevrim oranı kullanılan diş sayısına göre belirlenir. Manyetik dişli sistemlerinde ise benzer olarak, kullanılan sabit mıknatısların sayısı çevrim oranını belirlemektedir. Bu çalışmada koaksiyel bir yapıya sahip manyetik dişli sistemi tasarlanarak sonlu elemanlar yöntemi ile elektromanyetik analizi yapılmıştır. Giriş mili ve çıkış milinde belirli hızlarda aksel tork değerleri zamana bağlı sonlu elemanlar analizi sonucunda elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Manyetik dişli, Sabit mıknatıslar, Aksel tork, Sonlu elemanlar analizi.

Analysis of Magnetic Gear System with Finite Element Method

Abstract

The magnetic gear system works with magnetic forces obtained with the help of permanent magnets and has a structure that can be an alternative to classical gear systems. In order to transmit torque between the input and output shaft, unlike conventional gears, there is a transmission without mechanical contact in the magnetic gear system. Therefore, friction is eliminated. Elimination of friction means that magnetic gear systems operate at much higher efficiency compared to conventional gearbox systems. Since the movement and torque transmission in magnetic gear systems occur without contact, it never requires lubrication and problems arising from lubrication do not occur. In conventional mechanical gearbox systems, the conversion rate is determined by the number of teeth used. Similarly, the number of permanent magnets used determines the conversion rate in magnetic gear systems. In this study, a magnetic gear system with a coaxial structure was designed and its electromagnetic analysis was made with the finite element method. Axial torque values at certain speeds in the input shaft and output shaft were obtained as a result of finite element analysis depending on time.

Keywords: Magnetic gear, Permanent magnets, Axial torque, Finite element analysis.

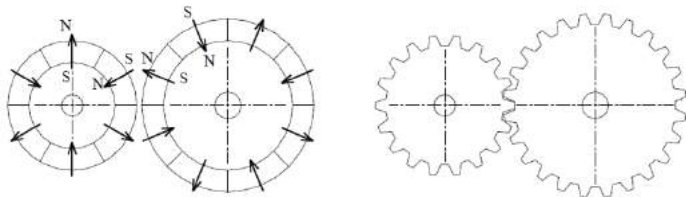
* Sorumlu Yazar: sinan.basaran@bilecik.edu.tr

1. Giriş

Birçok endüstriyel sistemde boyut ve hacmi azaltarak elde edilebilecek tork değerini arttırmak için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Klasik yöntem olarak bir elektrik motorunun çıkışındaki tork miktarını arttırmak için klasik mekanik dişli kutusu kullanılmaktadır. Elektrik motorlarında daha büyük bir motor seçmek yerine dişli kutusu koyarak sistem tork çıkışını arttırmak dolayısıyla tork yoğunluğunu arttırmak temel bir tasarım kriteridir. Hız ve moment büyüklükleri ihtiyaç duyulan değerlere yükseltmesi veya alçaltması dişlileri vazgeçilmez kılmıştır. Taşıtlar, rüzgâr santralleri, saat mekanizmaları başta olmak üzere çeşitli endüstri uygulamalarında örnekleri görülebilen bu fiziksel yapılar aşırı yükten, ısınma, sürtünme ve malzemenin yorulmaya maruz kalması gibi olumsuzluklardan büyük zarar görmektedir. Aşırı yükte ve aşırı ısıya karşı periyodik bakım, yağlama gibi koruyucu önlemler alınmaktadır. Sabit mıknatıslar yardımıyla elde edilen manyetik kuvvet birçok uygulamada aktif olarak kullanılmaktadır. Yeni nesil neodmiyum (NdFeB) kalıcı mıknatıslar artık yaygın bir şekilde temin edilebilmesiyle birlikte elektrik motoru, manyetik levitasyon sistemleri, manyetik kavrama ve manyetik dişli sistemleri gibi birçok sistemde uygulama alanı bulmaktadır.

Manyetik bir dişli, mekanik temas olmadan giriş ve çıkış mili arasında torku iletmek için kalıcı mıknatısların kullanıldığı bir tork aktarım elemanıdır. Benzer tork aktarım sistemlerine kıyasla manyetik dişli, mekanik bir dişliden daha küçük, daha hafif ve uzun vadede bakım gerektirmedikleri için daha düşük maliyetli olacaktır. Klasik dişli sistemlerinden farklı olarak hareketli parçalar arasında mekanik temas olmadığı için aşınma durumu söz konusu değildir dolayısı ile yağlama gerekmez. Yağlamadan ötürü oluşacak olumsuzluklar manyetik dişli uygulamalarında devre dışı bırakıldığı için temiz oda uygulamaları, gıda ve ilaç sektörü gibi farklı alanlarda tercih edilebilecek bir sistemdir. Manyetik dişliler, bir aşırı yük torku uygulandığında sisteme zarar vermeden kayarak aşırı yükte karşı koruyucu özellik gösterirler. Sisteme uygulanan aşırı tork kaldırıldığında otomatik ve güvenli bir şekilde yeniden devreye girerek aşırı yüklerle karşı doğal olarak koruma sağlarlar.

Mıknatısların güç aktarım cihazları olarak kullanılması ilk olarak 1901 yılında Armstrong tarafından, 687292 nolu patentte önerilmiştir (Armstrong, 1901). Manyetik dişli cihazlarda güç aktarımı yapısı klasik mekanik dişli kutularına benzer yapıdadır, fakat aktarım dişlilerin mekanik teması ile değil, manyetik kuvvetlerin yardımı ile gerçekleşir, en önemli fark mekanik temasın olmayışıdır (Lubin ve ark., 2010; Frank ve Toliyat, 2011; Uppalapati ve ark., 2013; Gerber ve Wang, 2013). Temel bir manyetik dişli sistemi ve mekanik dişli sistemindeki topolojik karşılığı Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Sabit mıknatıslı manyetik düz dişli şematik gösterimi ve mekanik karşılığı düz dişli

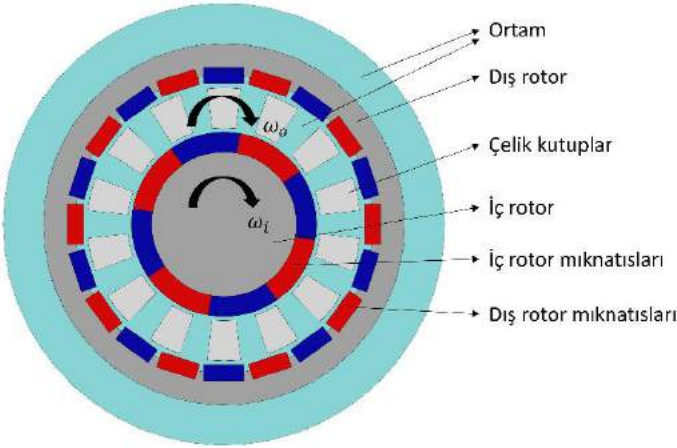
Şekil 1'de görüldüğü gibi giriş ve çıkış milinde farklı sayıda kalıcı mıknatıs manyetik dişli sistemini oluşturmaktadır. Atallah ve Howe, (2001) manyetik dişlilerin tork aktarım yoğunluklarını arttırmak için koaksiyel manyetik dişli tasarımı üzerinde çalışmalarda bulunmuşlardır. Rasmussen ve ark., (2005) koaksiyel manyetik dişli tasarımını yaparak sonlu elemanlar yöntemi ile analiz gerçekleştirmişleridir. Ayrıca koaksiyel manyetik dişli tasarımında sabit mıknatısları Halbach dizilimi ile yerleştirilerek daha yüksek tork aktarım yoğunluğu elde etmek mümkün olduğunu göstermişlerdir (Jian ve Chau, 2010). Fakat bu yapıda sabit mıknatısları açılı şekilde kutup yönleri olacak şekilde temin etmenin güçlüğü bulunmaktadır. Klasik mekanik dişli topolojisinden esinlenerek manyetik dişli tasarımı olarak mekanik eşdeğerleri elde etmek mümkündür. Dolayısı ile bir manyetik dişli, mekanik muadilinin mevcut her topolojisine göre tasarlanabilir (Tlali ve ark., 2014). Mezani ve ark. çalışmalarında manyetik dişli sistemi için eksenel alan topolojisi tanımlanmış ve maksimum tork iletimi için optimum boyutların mevcut olduğu göstermişlerdir (Mezani ve ark., 2006). Ayrıca manyetik dişli konsepti sonsuz vida ve somun içeren lineer aktüatör uygulamaları içinde tasarlanmıştır (Atallah ve ark., 2005).

Manyetik dişinin bağlı olduğu bir sistem, yağlama olmadan çalışabilmekte ayrıca, vakum veya hava geçirmez şekilde kapatılmış ortamın ihtiyaç duyulduğu işlemlerde kullanılabilir. Temiz çalışma koşulları başta gıda sektörü olmak üzere birçok farklı sektör için tercih sebebidir. Ayrıca benzer sistemlere göre daha uzun ömürlüdür. (Esnoz-Larraya ve ark., 2017). Bakım gerektirmeme ve temiz ortamda çalışabileme özellikleri sayesinde mikro boyutlardaki manyetik dişli sistemlerinin mikro elektro-mekanik sistemlere entegre edildiği çalışmalarda güncel olarak sürdürülmektedir (Diez-Jimenez ve ark., 2018). Açık deniz rüzgâr türbini uygulamalarının ve klasik rüzgâr türbini sistemlerinde yüksek güç üretimi için, boyut ve maliyet en büyük zorluklar arasındadır. Bu sorunların üstesinden gelmek için bu, mekanik dişli donanım olmadan rüzgâr enerjisi üretimi için manyetik dişli topoloji yaklaşımı üzerine çalışılmaktadır (Belkhir ve Khenfer, 2013). Ayrıca rüzgâr türbini dişli kutuları, üretilen yüksek tork yoğunluğuna rağmen aşırı yük problemlerinden ve sık bakım gereksiniminden muzdariptir fakat manyetik dişli sistemleri doğası gereği aşırı tork koruma sağlamaktadır (Wei ve Aravind, 2018). Manyetik dişli sistemine stator ile elektrik sargılarını birleştirerek, motor ve redüktörün yerini alan ve geleneksel motor ve redüktörün kullanıldığı her yerde kullanılabilen kendinden redüktörlü motor sisteminde güncel çalışmalar arasında yer almaktadır (Miladinović, 2017).

Bu çalışmada koaksiyel tipteki bir manyetik dişli tasarımına yer verilmiştir. Manyetik dişli sistemleri arasında mekanik topoloji benzeri yaygın olarak kullanıldığı için için en çok koaksiyel yapı üzerine çalışmalar bulunmaktadır (Desvaux ve ark., 2020; Park ve ark., 2020; Jing ve ark., 2019). Literatürdeki çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada çıkış rotoru olarak sabit mıknatısların yer aldığı dış rotor yerine orta rotor olarak tasarım gerçekleştirilmiştir. Bu tasarım da giriş mili ve çıkış milinin aynı yönlü dönmesini sağlamaktadır. Dişli sisteminde yer alan sabit mıknatısların sayısı hedeflenen çevrim oranına göre belirlenmiştir. Ayrıca sistemin iki boyutlu modeli üzerinden zamana bağlı bir sonlu elemanlar analizi yapılarak 0,1 saniyelik bir süre için giriş ve çıkış millerindeki eksenel tork miktarı hesaplanmıştır. Makaledeki manyetik dişli, fiziksel modeli çözmek için elektromanyetik sonlu eleman analizi çözümü sunan sayısal bir araç olan COMSOL Multiphysics programından yararlanılmıştır.

2. Koaksiyel Manyetik Dişli

Koaksiyel manyetik dişlinin ana bileşenleri, Şekil 2’de sematik görünüşü üzerinde gösterilmiştir. Temel olarak manyetik dişli sistemi 3 adet eş merkezli rotor elamanının bir araya gelmesinden oluşur. Bunlarda iç rotor düşük sayıda sabit mıknatıs içeren sistemin en iç dönen parçasını oluşturmaktadır. Dolayısı ile iç rotor aynı zamanda giriş mili ya da yüksek hızlı mil isimleriyle de bilinmektedir. Klasik dişli topolojisinde olduğu gibi düşük tork yüksek devire sahiptir. İç rotordan hemen sonra sistemde orta kısımda sabit çelik çubukların yer aldığı kısım bulunmaktadır. Bu yapı adından anlaşılacağı gibi sabit tutularak ana gövde üzerinde tutturulabileceği gibi çıkış rotoru olarak kullanılabilir. Bu yapının sabit tutulmak yerine çıkış rotoruna bağlanması sistemin çevrim oranının değişirmesinin yanında en önemli fark olarak çıkış mili ile giriş milinin dönme yönlerinin aynı olmasını sağlamasıdır. Bu çalışmada literatürden farklı olarak çıkış mili olacak şekilde belirlenen orta rotor çelik çubukları sayesinde giriş ve çıkış milleri aynı yöne dönmekte ve mekanik dişlilerde olduğu gibi uygulama kolaylığı sağlamaktadır. Son olarak ise dış rotor yüksek sayıda sabit mıknatıs içeren kısım bulunmaktadır. Dış rotor aynı zamanda çıkış mili ya da düşük hızlı mil olarak adlandırılmaktadır. Klasik dişli topolojisinde olduğu gibi yüksek tork ve düşük devire sahiptir.



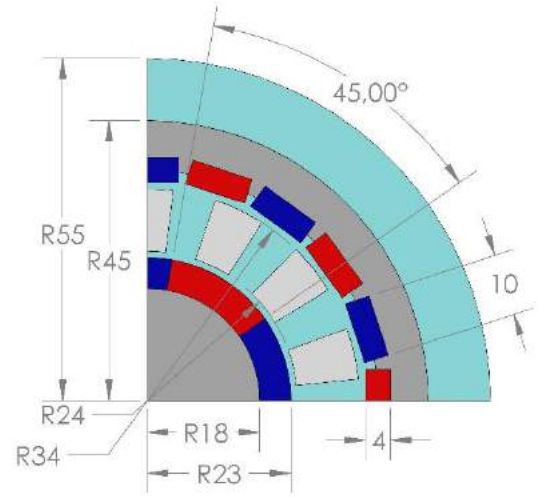
Şekil 2. Bir koaksiyel manyetik dişlinin model çizimi

Şekil 2’de verilen manyetik dişli sisteminde iç rotordaki sabit mıknatıs sayısı $n_{(PM-i)}$ dış rotordaki mıknatıs sayısı $n_{(PM-o)}$ olarak verilmiştir. Tasarlanan manyetik dişli sisteminde iç rotorda 8 adet ve dış rotorda ise 20 adet mıknatıs kullanılmıştır. Sistemde mıknatısların dizilimi için yarım Halbach yapısı seçilmiştir. Dolayısı ile 1 kutup çifti Şekil 2’de gösterimi verilen bir adet mavi bir adet kırmızı olmak üzere 2 mıknatıs çiftinden oluşmaktadır. İç ve dış rotordaki mıknatısların kutup çiftleri toplamı orta rotorda bulunan çelik çubukların sayısını vermektedir.

$$n_{sp} = \frac{n_{PM-i}}{2} + \frac{n_{PM-o}}{2} = 14 \quad (1)$$

Denklem (1)’de verildiği gibi sistemde 14 adet sabit çelik kutuplar bulunmaktadır. Manyetik dişli sistemi tasarımında en önemli unsur kalıcı mıknatısların seçimidir. Ark şeklindeki mıknatıslar daha pahalı olduğu için tasarımda dış rotor için dikdörtgen geometrili mıknatıslar seçilmiştir. Kullanılan mıknatısların boyutları ve manyetik dişli sisteminin diğer fiziksel ölçüleri Şekil 3’te verilmiştir. Kalıcı mıknatıslar güçlü

manyetik alana sahiptir, metal yapıştırma işleri için tasarlanmış epoksi yapıştırıcı kullanılarak montaj işlemi yapılmıştır. Burada iç rotorda kullanılan sabit mıknatısların iç yarıçapı 18 mm olarak tasarlanmıştır. İç rotor mıknatıslarından sonra yarıçapı 24 mm, dış yarıçapı 34 mm olan sabit demir parçaları yerleştirilir. Bu nedenle iç rotor mıknatısları ile sabit demir direk parçaları arasında 1 mm hava boşluğu vardır. Dış statordaki kalıcı mıknatısların yarıçapı dikdörtgen mıknatısların orta noktasından geçecek şekilde 37 mm’dir. Dış statorda açılabilir yerleştirilen dikdörtgen geometrili stator mıknatısları kullanıldığı için ortalama yarıçap değeri alınmıştır. Aynı şekilde dış stator ile ortadaki sabit demir kutup parçaları arasındaki boşluk yaklaşık 1 mm’dir. Tablo 1’de manyetik dişli tasarımı için temel model parametreleri verilmiştir.



Şekil 3. Manyetik dişli sisteminin temel ölçüleri

2.1. Dişli Çevrim Oranı

Mekanik dişli sistemlerinde olduğu gibi manyetik dişli sistemlerinde de dişli dönme oranını belirlemek mümkündür. Dişli oranının nasıl hesaplandığını anlamak için Şekil 2’teki manyetik dişli sistemi üzerinde yer alan mıknatıs sayılarını dikkate alalım. Bu konfigürasyonda dış rotordan sabit olduğu sistemin çıkış milinin ise çelik kutuplar ile sağlandığı bir yapı söz konusudur. Dış rotordan sabitlenmiş olduğu manyetik dişli için dişli çevrim oranını veren denklem:

$$g_r = \frac{\frac{n_{PM-i}}{2} + \frac{n_{PM-o}}{2}}{\frac{n_{PM-i}}{2}} \quad (2)$$

olarak verilmiştir. Burada g_r dişli çevrim oranını temsil etmektedir. Dolayısı ile mıknatıs sayıları yerlerine yazılarak dişli çevrim oranı 7:2 olarak bulunur. Giriş mili ile çıkış mili arasındaki nominal açısal hız ilişkisi şu şekilde formüle edilebilir:

$$\omega_i = \frac{1}{g_r} \omega_o \quad (3)$$

Bu konfigürasyon için nominal tork ilişkisi, manyetik dişli konfigürasyonu sabit bir açısal hızda çalışıyorsa ve herhangi bir kayıp yoksa, sabit güç dikkate alınarak hesaplanabilir. Sistemin toplam mekanik gücü sifıra eşit olmalıdır. Dış rotoru sabit olduğu için açısal hızı sıfırdır, (3)’te tanımlanan nominal açısal hızlar yardımı ile tork ilişkisi şu şekilde formüle edilebilir:

$$\tau_i \omega_i + \tau_o \omega_o = 0 \quad (4)$$

$$\tau_i = -g_r \tau_o \quad (5)$$

Tablo 1. Temel model parametreleri

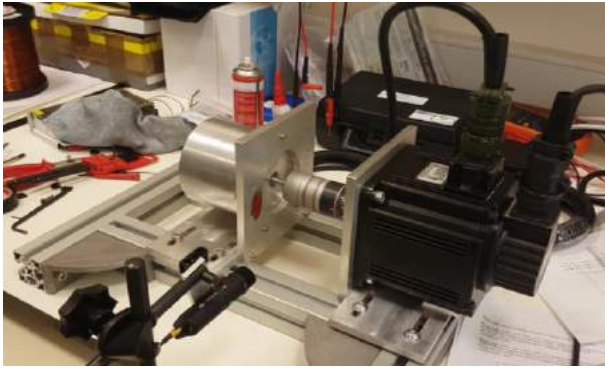
Tanım	Değer	Açıklama
n_{PM-i}	8 adet	İç rotor mıknatıs sayısı
n_{PM-o}	20 adet	Dış rotor mıknatıs sayısı
n_{sp}	14 adet	Toplam rotor uzunluğu
n_{gear}	7:2	Dişli oranı
ω_i	700 d/d	İç rotor açısal hızı
ω_o	200 d/d	Dış rotor açısal hızı
L	25 mm	Toplam rotor uzunluğu
B_r	1.4 T	Kullanılan mıknatısların akı yoğunluğu

2.2. Prototip tasarımı

Şekil 4 üretilen manyetik dişli sistemini göstermektedir. Ek olarak, manyetik dişli sisteminde çeşitli testler gerçekleştirmek, dişli dönüşüm oranını doğrulamak ve giriş ve çıkış torku aktarım oranlarını belirlemek gibi çeşitli çalışmaların yapılacağı için, servo motor ve kaplin elemanları yardımı ile bir test düzeneği oluşturulmuştur. Şekilde manyetik dişli sisteminin giriş ve çıkış hızları bir lazer temassız devir ölçer yardımıyla ölçülmekte ve bu değerlerin her hızda redüktörün devir hızıyla orantılı olduğu ölçülmüştür.



(a)



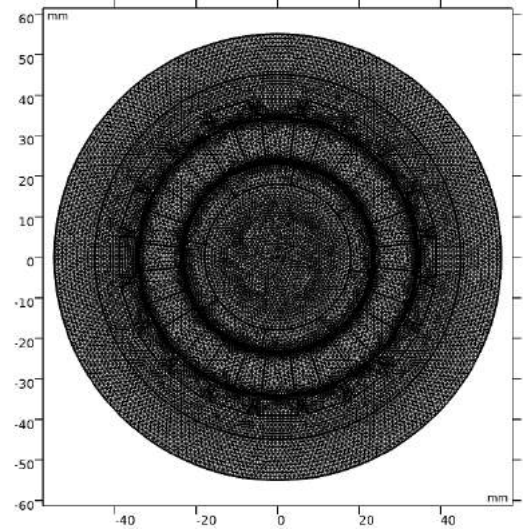
(b)

Şekil 4. (a) Manyetik dişli sistemi ve (b) test düzeneği

3. Sonlu Elemanlar Analizi

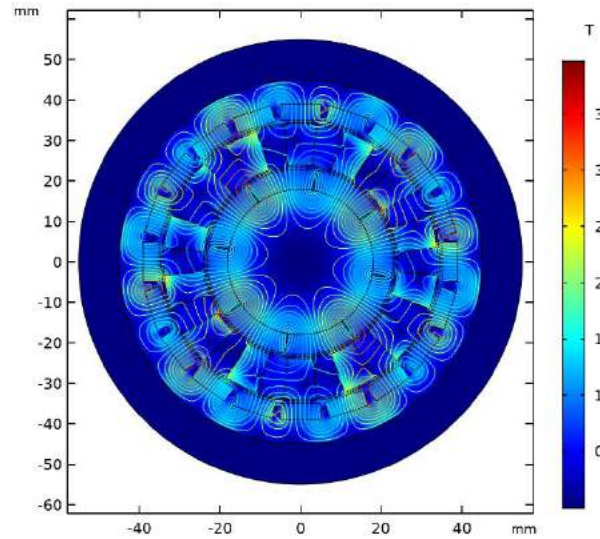
Sonlu elemanlar analizi için Comsol Multiphysics programında AC/DC modülü altında yer alan *Rotating Machinery, Magnetics (rmm)* ara yüzü kullanılarak 2 boyutlu uzayda analiz gerçekleştirilmiştir. Sistemin toplam rotor uzunluğu (L) programa girilerek gerçek sistem analiz edilmiştir. Sonlu elemanlar analizi için manyetik dişli sistemine uygulanan denklemler (quasi-static) yarı statik Maxwell yasalarıdır. Maxwell denklemlerinde manyetik alan H , akı yoğunluğu B ve akım yoğunluğu J ile gösterilmektedir. Dış rotorunun

mıknatısların bağlandığı kısmı ve iç rotorun iç kısmı $B-H$ eğrisinin bir enterpolasyon fonksiyonu olarak Comsol Multiphysics'te uygulanan çok düşük karbonlu demir malzeme olarak seçilmiştir. Çıkış milini temsil eden çelik kutuplar için ise Comsol kütüphanesinde bulunan *Steel AISI 4340* malzemesi seçilmiştir. Son olarak kalan kısımlar için kütüphaneden standart hava malzemesi tanımlanarak uygulanmıştır. Zamana bağlı bir analiz yapılacağı için manyetik dişlide giriş mili ve çıkış milinin tanımlandığı kısımlar (moving mesh) hareketli ağ yapısı ile oluşturulmuştur. Dolayısı ile geçiş sınır bölgesinde daha küçük eleman boyutu seçerek toplamda 27062 üçgen eleman ile Şekil 5'te gösterilen ağ yapısı elde edilmiştir.



Şekil 5. Manyetik dişli sisteminin sonlu elemanlar ağ yapısı

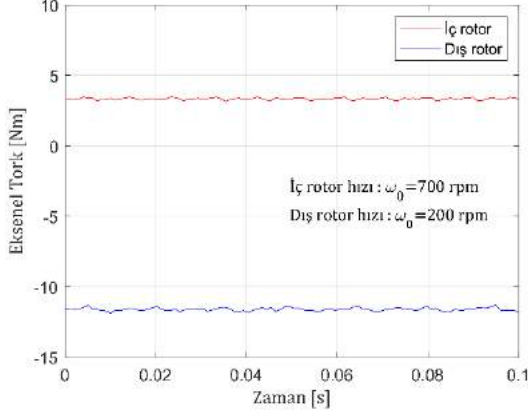
Şekil 6'da manyetik dişli sistemi için $t=0.1$ saniyesi için verilen manyetik akı yoğunluğu ve akı çizgileri gösterilmektedir. Orta rotorda yer alan çelik kutup parçalarında akı çizgileri yoğun ilen bu yoğunluk aynı bölgedeki hava malzemesi tanımlı bölgelerde azalmaktadır.



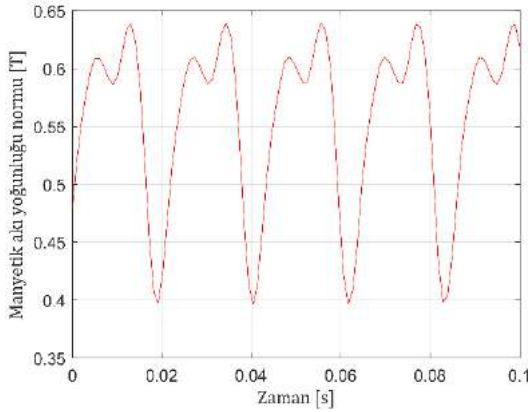
Şekil 6. Manyetik dişli sisteminin manyetik akı yoğunluğu normu ve manyetik vektör potansiyeli

Giriş milini temsil eden iç rotor ve çıkış milini temsil eden dış rotor kısmında hava harici malzemeler için tork ölçümü bölgeleri programda tanımlanmıştır. Dolayısı ile Şekil 7, giriş ve

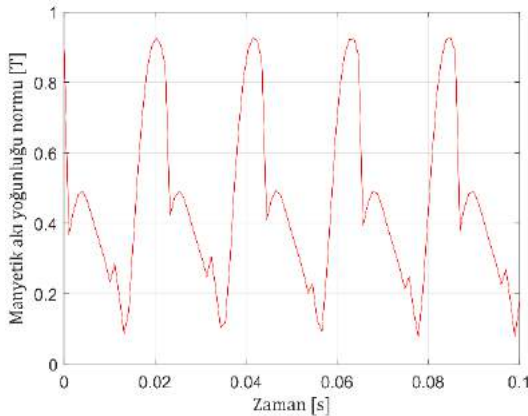
çıkış rotorunda üretilen aksel torkun karşılaştırmasını göstermektedir. Orta rotorda elde edilen tork, iç rotordaki torkun yaklaşık 3,5 katıdır. Buda denklem (5)'te verilen bağıntı ile doğrulanmaktadır. Manyetik dişli rotorun üzerinde istenilen bölgelerde tanımlanan doğrular sayesinde manyetik akı yoğunlukları elde edilebilir. Şekil 8'de sabit dış rotorun orta bölgesine kadar olan bölge için elde edilen manyetik akı yoğunluğu gösterilmektedir. Benzer şekilde çelik kutuplar (çıkış rotoru) içindeki ve iç rotor içindeki manyetik akı yoğunluğu normu Şekil 9 ve 10 da sırası ile verilmektedir.



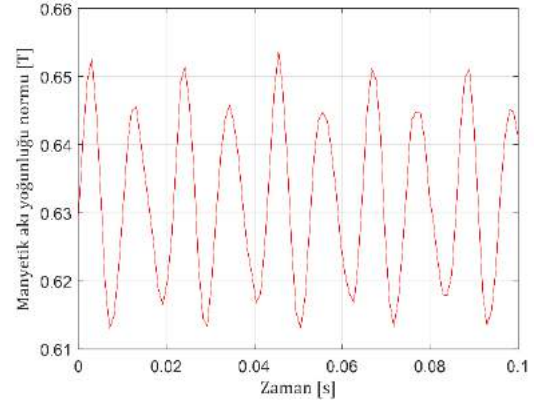
Şekil 7. Manyetik dişli sisteminin giriş mili ve çıkış mili üzerindeki tork değerleri



Şekil 8. Sabit dış rotor içindeki manyetik akı yoğunluğu normu



Şekil 9. Çelik kutuplar (çıkış rotoru) içindeki manyetik akı yoğunluğu normu



Şekil 10. İç rotor içindeki manyetik akı yoğunluğu normu

4. Sonuç

Bu çalışmada manyetik dişli sistemlerinden ve topolojilerinden bahsedilmektedir. Manyetik dişli makineler, yüksek tork yoğunluğuna sahip yeni bir elektrik makinesi sınıfı olarak ortaya çıkmıştır. Farklı topoloji önerilen manyetik dişli sistemlerinin faydalarını belirlemek ve uygulama alanını geliştirmek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır. Bazı uygulamalarda mekanik dişlilerin yerini almak için manyetik dişliler geliştirilmektedir. Mekanik dişliler gürültüdüdür ve yağlama gerektirir. Manyetik dişliler ise temassız özelliğe sahip olduğundan yağlamaya gerek duymazlar. Manyetik dişliler aşırı yüklendiğinde kayma özelliği gösterirler. Manyetik dişliler, aşırı yüklenmelere karşı doğal olarak koruma sağlar ve arıza torku kaldırdığında güvenli bir şekilde yeniden devreye girer. Bu avantajlar, manyetik dişlileri popüler bir konu haline getirmektedir. Bu çalışmada alışılmış tasarımlardan farklı olarak çıkış rotorun orta kısımda bulunduğu çelik kutuplar üzerinden sağlandığı manyetik dişli tasarımına yer verilmiştir. Çalışmada bahsedilen koaksiyel manyetik dişli sisteminin üretim aşamaları da sonlu elemanlar yöntemi ile çıkış tork değerlerinin analizi ayrıca sunulmuştur.

5. Teşekkür

Bu çalışma 0874.TGSD.2015 numaralı Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Teknogirişim Sermayesi Desteği programı kapsamında yapılmıştır.

Kaynakça

- Armstrong, C. G. (1901). U.S. Patent No. 687,292. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Atallah, K., & Howe, D. (2001). A novel high-performance magnetic gear. IEEE Transactions on magnetics, 37(4), 2844-2846.
- Atallah, K., Wang, J., & Howe, D. (2005). A high-performance linear magnetic gear. Journal of Applied Physics, 97(10), 10N516.
- Belkhir, K. S., & Khenfer, N. (2013). Magnetic gear generator for wind energy. Prezgląd Elektrotechniczny, 5, 72-75.
- Desvaux, M., Multon, B., Sire, S., & Ahmed, H. B. (2020, August). 2 x 2D Analytical Model of a Transverse Flux Magnetic Gear. In 2020 International Conference on Electrical Machines (ICEM) (Vol. 1, pp. 565-571). IEEE.

- Diez-Jimenez, E., Sanchez-Montero, R., & Martinez-Muñoz, M. (2018). Towards miniaturization of magnetic gears: Torque performance assessment. *Micromachines*, 9(1), 16.
- Esnoz-Larraya, J., Valiente-Blanco, I., Cristache, C., Sanchez-Garcia-Casarrubios, J., Rodriguez-Celis, F., Diez-Jimenez, E., & Perez-Diaz, J. L. (2017). Optimagdrive: High-performance magnetic gears development for space applications. *Proceedings of the ESMATS*.
- Frank, N. W., & Toliyat, H. A. (2011). Analysis of the concentric planetary magnetic gear with strengthened stator and interior permanent magnet inner rotor. *IEEE transactions on industry applications*, 47(4), 1652-1660.
- Gerber, S., & Wang, R. J. (2013, February). Evaluation of a prototype magnetic gear. In *2013 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)* (pp. 319-324). IEEE.
- Jian, L., & Chau, K. T. (2010). A coaxial magnetic gear with halbach permanent-magnet arrays. *IEEE Transactions on Energy conversion*, 25(2), 319-328.
- Jing, L., Gong, J., Huang, Z., Ben, T., & Huang, Y. (2019). A new structure for the magnetic gear. *IEEE Access*, 7, 75550-75555.
- Lubin, T., Mezani, S., & Rezzoug, A. (2010). Analytical computation of the magnetic field distribution in a magnetic gear. *IEEE Transactions on magnetics*, 46(7), 2611-2621.
- Mezani, S., Atallah, K., & Howe, D. (2006). A high-performance axial-field magnetic gear. *Journal of applied physics*, 99(8), 08R303.
- Miladinović, S., Ivanović, L., Blagojević, M., & Stojanović, B. (2017). The development of magnetic gears for transportation applications. *Mobility and Vehicle Mechanics*, 43(1), 39-55.
- Park, E. J., Jung, S. Y., & Kim, Y. J. (2020). Comparison of Magnetic Gear Characteristics Using Different Permanent Magnet Materials. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 30(4), 1-4.
- Rasmussen, P. O., Andersen, T. O., Jorgensen, F. T., & Nielsen, O. (2005). Development of a high-performance magnetic gear. *IEEE transactions on industry applications*, 41(3), 764-770.
- Tlali, P. M., Wang, R. J., & Gerber, S. (2014, September). Magnetic gear technologies: A review. In *2014 International Conference on Electrical Machines (ICEM)* (pp. 544-550). IEEE.
- Uppalapati, K. K., Bomela, W., Bird, J. Z., Calvin, M., & Wright, J. (2013, September). Construction of a low speed flux focusing magnetic gear. In *2013 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition* (pp. 2178-2184). IEEE.
- Wei, T. W., & Aravind, C. V. (2018). Magnetic geared radial axis vertical wind turbine for low velocity regimes. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 152, p. 03007). EDP Sciences.



Orange G'nin Sulu Çözeltilerden Uzaklaştırılması için α -Fe₂O₃ Nanopartiküllerinin Adsorban Olarak Kullanılması; Adsorpsiyon, Kinetik ve Termodinamik Özellikleri

Hakan Kızıltaş^{1*}

^{1*} Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3131-6422), h.kiziltas@atauni.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 22 Eylül 2020 ve Kabul Tarihi 7 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.798223)

ATIF/REFERENCE: Kızıltaş, H. (2021). Orange G'nin Sulu Çözeltilerden Uzaklaştırılması için α -Fe₂O₃ Nanopartiküllerinin Adsorban Olarak Kullanılması; Adsorpsiyon, Kinetik ve Termodinamik Özellikleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 43-52.

Öz

Çevre kirliliğinin en önemli kaynaklarından biri de endüstriyel atık sularıyla çevreye salınan boyarmadde atıklarıdır. Endüstride sıklıkla kullanılan boyalardan biri olan Orange G (OG), hidrotermal yöntemle sentezlenmiş α -Fe₂O₃ nanopartikülleri yardımıyla adsorpsiyon işlemine tabi tutulmuştur. Sentezlenen α -Fe₂O₃ nanopartiküllerinin karakterizasyonu SEM-EDS ve XRD analizleri ile belirlenmiştir. Adsorpsiyon çalışmaları için, temas süresinin, pH'ın, başlangıç boya konsantrasyonunun, adsorban miktarının ve sıcaklığın etkisi incelenmiştir. Yapılan denemeler sonucunda optimum dengelenme süresi 180 dakika ve optimum pH değeri 6,5 olarak belirlenmiştir. OG'nin α -Fe₂O₃ nanopartikülleri üzerinde adsorpsiyonundan elde edilen denge verilerine en uygun izoterm modelinin Freundlich modeli ve en uygun kinetik modelin yalancı ikinci mertebe modeli olduğu bulundu. Langmuir modeli yardımıyla maksimum tek tabakalı adsorpsiyon kapasitesinin 334 mg/g olduğu belirlendi. Termodinamik çalışmalarla, OG'nin α -Fe₂O₃ nanopartiküllerine adsorpsiyonunun endotermik olduğu, fiziksel adsorpsiyonun meydana geldiği ve adsorpsiyon olayının kendiliğinden gerçekleştiği sonucuna varıldı. Sonuç olarak, α -Fe₂O₃ nanopartiküllerinin endüstriyel atık olarak çevreye salınan atık sularındaki boyarmaddelerin uzaklaştırılması için büyük bir potansiyele sahip olduğu ortaya konuldu.

Anahtar Kelimeler: α -Fe₂O₃, Orange G, Adsorpsiyon, İzoterm, Kinetik, Termodinamik.

Using α -Fe₂O₃ Nanoparticles as an Adsorbent to Remove Orange G from Aqueous Solutions: Adsorption, Kinetic and Thermodynamic Properties

Abstract

One of the most important sources of environmental pollution is dyestuff waste released to the environment by industrial wastewater. Orange G (OG), one of the dyes frequently used in the industry, was adsorbed with α -Fe₂O₃ nanoparticles synthesized by the hydrothermal method. The characterization of synthesized α -Fe₂O₃ nanoparticles was determined by SEM-EDS and XRD analysis. For adsorption studies, the effects of contact time, pH, initial dye concentration, adsorbent amount, and temperature were investigated. As a result of the experiments, the optimum equilibration time was defined as 180 minutes and the optimum pH value was determined as 6.5. It was found that the most suitable isotherm model for the equilibrium data obtained from the adsorption of OG on α -Fe₂O₃ nanoparticles was the Freundlich model and the most suitable kinetic model was the pseudo-second-order model. With the result of the Langmuir model, it was determined that the maximum single layer adsorption capacity was 334 mg/g. With the thermodynamic studies it was evaluated that the adsorption of OG to α -Fe₂O₃ nanoparticles was endothermic, physical adsorption occurred and the adsorption event occurred by itself. As a result, it was demonstrated that α -Fe₂O₃ nanoparticles have great potential for the removal of dyestuffs from wastewater released as industrial waste.

Keywords: α -Fe₂O₃, Orange G, Adsorption, Isotherm, Kinetics, Thermodynamics.

* Sorumlu Yazar: h.kiziltas@atauni.edu.tr

1. Giriş

Günümüzde hızla artan nüfus ve teknolojik gelişmeler tekstil, gıda, kozmetik, kâğıt ve ilaç endüstrilerinin artmasına neden olmaktadır. Endüstriyel alanında meydana gelen bu artış çevreye salınan kirletici maddelerinde artışına sebep olmaktadır (Cheknane, Bouras, Baudu, Basly, & Cherguielaine, 2010). Bu kirleticilerin büyük bir çoğunluğunu oluşturan karmaşık yapıya sahip boyar maddelerin, doğal ortama salınımı hem akarsuların, göllerin hem de doğal su kaynakların kirlenmesine sebep olmaktadır (Mia et al., 2019). Bu kirlenmeler, direk ve dolaylı olarak canlı yaşamlarını büyük oranda tehlikeye sokmaktadır. Son yıllara meydana gelen doğal su kaynaklarındaki azalmalar ve su ihtiyaçlarının artması atık sularındaki kirleticilerin ortadan kaldırılmasını kaçınılmaz kıldığından dolayı, araştırmacıların bu alanda çalışmalar ortaya koyması teşvik edilmektedir (Kiziltaş & Tekin, 2017; Xu et al., 2020; Yılmaz, 2020).

Kirleticilerin giderilmesi işlemleri fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak geleneksel iyileştirmeler yardımıyla yapılmaktadır (Sen, 2015). Ancak bu yöntemlerin yüksek maliyetli olması, ikincil kirlilik oluşturması ve bazı yöntemlerin sınırlı verimle çalışması gibi çeşitli dezavantajları bulunmaktadır (Katheresan, Kannedo, & Sie Yon, 2018). Mevcut bu dezavantajlar nedeniyle bu yöntemlerin kirleticilerin gideriminin de kullanımı sınırlandırılmış olmasına rağmen, düşük maliyetli, yüksek giderim verimine sahip ve kolay uygulanabilme özellikleriyle adsorpsiyon yöntemi sıklıkla tercih edilen bir yöntemdir (De Gisi, Lofrano, Grassi, & Notarnicola, 2016). Adsorpsiyon işlemlerinde kullanılan adsorbanların yüksek hızda adsorplama yapabilmesi ve adsorpsiyon kapasiteleri çok önemli iki faktör olarak karşımıza çıkmaktadır (Wiersum, Chang, Serre, & Llewellyn, 2013). Bu bağlamda yüksek adsorpsiyon yüzey alanına sahip olabilen nano yapıları adsorbanlar, yüksek verimli adsorpsiyon sistemleri açısından büyük ilgi görmektedir (Manyangadze et al., 2020). Ayrıca, adsorpsiyon işleminin ardından adsorbanların çözelti ortamından uzaklaştırılması için ekstra enerji kaybına neden olan süzme ve filtreleme gibi işlemlere gereksinim duyulmaktadır (Rashed, 2013).

Yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip ve çözelti ortamından ayrılma kolaylığı sağlayabilen adsorbanların üretilmesi son yıllarda çok fazla ilgi çeken konular arasında yer almaktadır (Iconaru et al., 2016; Khan, Pathak, & Fulekar, 2017; Roto, 2018). Özellikle, farklı metal oksitlerin işlevselliğinin geliştirilmesi ve nano boyutta sentezlenmeleri ile kazandıkları yeni fiziksel özelliklerin keşfedilmesi kapsamlı bir şekilde çalışılmıştır (Abdel-Karim, Reda, & Abdel-Fattah, 2020; Dontsova, Nahirniak, & Astrelin, 2019).

Bu çalışmada, alternatif adsorban olarak α -Fe₂O₃ nanopartikülleri sentezlenmiştir. Sentezlenen nanopartiküllerin herhangi bir t anında α -Fe₂O₃ tarafından adsorplanan OG miktarı qt (mg/g) aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanmıştır (Bhalara, Punetha, & Balasubramanian, 2015).

$$q_t = (C_0 - C_t) \cdot V / m \quad (1)$$

Denge süresinde adsorplanan OG miktarı qe (mg/g), aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanmıştır (Akalin).

$$q_e = (C_0 - C_e) \cdot V / m \quad (2)$$

burada, C₀, C_t ve C_e (mg/L) sırasıyla başlangıç, herhangi bir zamandaki ve denge süresindeki boya konsantrasyonları, V (L) çözelti hacmi ve m (g) adsorban miktarıdır.

karakterizasyonu için SEM-EDS ve XRD analizleri yapılmıştır. Temas süresi, Optimum pH, başlangıç boya konsantrasyonu, adsorban miktarı ve sıcaklık gibi çeşitli parametrelerin adsorpsiyon kapasitesi üzerindeki etkisinin incelenmesi için ipek ve yün ürünlerinin boyanmasında sıklıkla kullanılan OG azo boyasının α -Fe₂O₃ nanopartikülleri üzerindeki adsorpsiyonu incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyaller

α -Fe₂O₃ nanopartiküllerinin sentezlenmesinde demir (III) klörür hegzahidrat (FeCl₃·6H₂O, %97, Sigma-Aldrich), amonyak (NH₃, %25, Sigma-Aldrich) kullanılmıştır. Adsorpsiyon denemeleri için boya madde olarak Orange G (C₁₆H₁₀N₂Na₂O₇S₂, ≥ 80%, Sigma-Aldrich) kullanılmıştır.

2.2. α -Fe₂O₃ nanopartiküllerinin sentezlenmesi

1,35 gr FeCl₃·6H₂O daha önceden hazırlanmış olan 75 ml amonyak ve 25 ml deiyonize sudan oluşan çözelti içerisine eklenerek şeffaf çözelti elde edilene kadar 45°C'de karıştırıldı (Ma, Lian, Duan, Liu, & Zheng, 2010). Daha sonra elde edilen karışım 200 ml'lik teflon astarlı paslanmaz çelik otoklav reaktör içerisine aktarılarak 180°C'de 8 saat süre bekletildi. Elde edilen kırmızı ürün harici miknatıslanma ile çözelti ortamından ayrılarak etanol ve deiyonize suyla yıkanarak 60°C'de etüvde 2 saat süreyle kurutuldu.

2.3. Karakterizasyon

Sentezlenen α -Fe₂O₃ nanopartiküllerinin karakterizasyonu için taramalı elektron mikroskobu (SEM, Zeiss -Sigma 300), Enerji Dağıtıcı X-ışını Spektroskopisi (EDS) ve X-ışını kırınımı (XRD, PANalytical-) cihazları kullanılmıştır.

2.4. Adsorpsiyon Prosedürü

Sentezlenen α -Fe₂O₃ nanopartikülleri üzerinde OG boya maddesi için gerçekleştirilen adsorpsiyon deneyleri sıcaklık kontrollü çalkalayıcı (Edmund Bühler TH15/KS15, Almanya) ile yapılmıştır. Temas süresinin belirlenmesi için sabit özelliklere sahip (pH, başlangıç boya konsantrasyonu, adsorban miktarı ve sıcaklık) on farklı erlen içerisine konulmuş 100 ml OG çalkalayıcıya yerleştirilip belirli zaman aralıklarının da (0-300 dakika) boya konsantrasyonu ölçümleri spektrofotometre (Optizen α , Güney Kore) ile yapılmıştır. Denge süresinin belirlenmesinin ardından, adsorpsiyon deneyleri pH, başlangıç boya konsantrasyonu, adsorban miktarı ve sıcaklık gibi parametreler ile gerçekleştirilmiştir. Çözelti pH ayarlanması 0,05 mol/L HCl ve NaOH çözeltileri yardımıyla ve pH metre (Thermo Scientific, Orion 3 Star, USA) ölçümleriyle yapılmıştır.

Adsorpsiyon deneyleri için % giderim aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanmıştır (Kaur, Rani, & Mahajan, 2013).

$$\% \text{ Giderim} = (C_0 - C_e) \cdot 100 / C_0 \quad (3)$$

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. α -Fe₂O₃ nanopartiküllerinin karakterizasyonu

Sentezlenen α -Fe₂O₃ nanopartiküllerine ait SEM ve EDS analizi sonuçları Şekil 1'de verilmiştir.

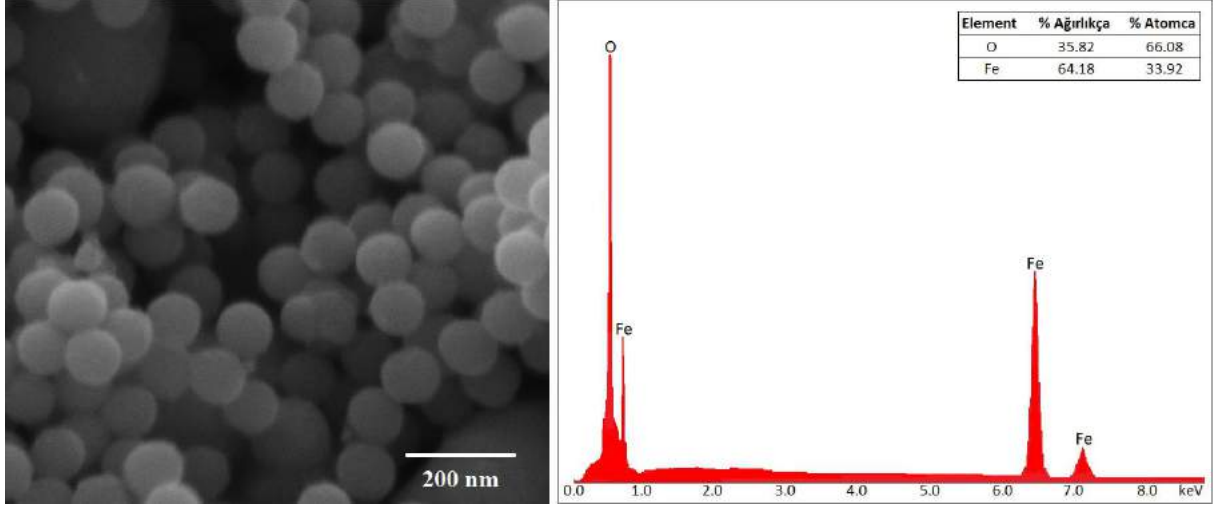
Şekil 1’de görüldüğü gibi, sentezlenmiş olan α -Fe₂O₃ nanopartikülleri küresel olarak oluşumunu tamamlamış ve homojen bir dağılım sergilemektedir. Elde edilen nanopartiküllerin çap dağılımı 90-120 nm aralığında değişmekte olup ortalama çap yaklaşık 100nm’dir.

EDS analizi yardımıyla numunedeki demir ve oksijen varlığı kanıtlanmıştır.

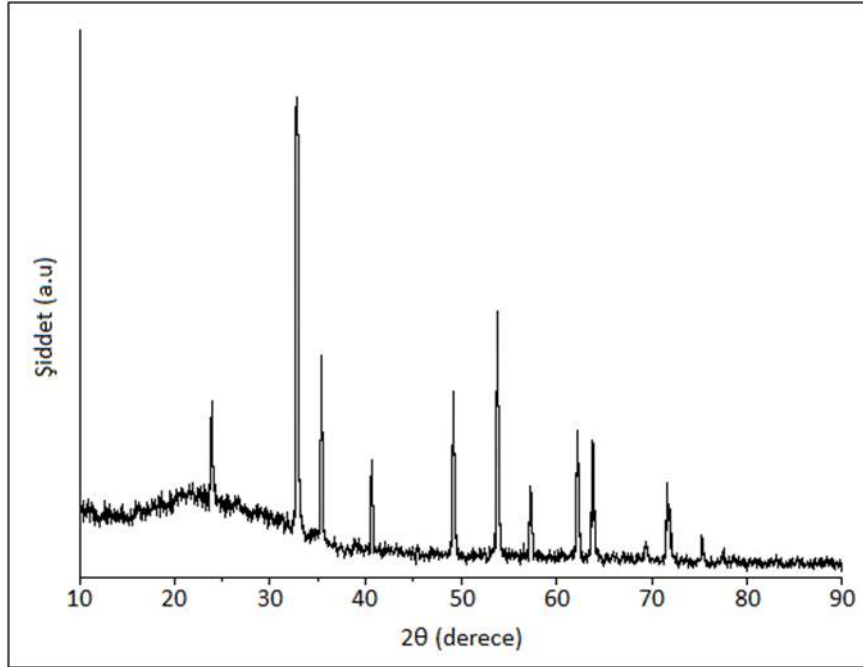
Sentezlenen α -Fe₂O₃ nanopartiküllerine ait XRD analizi sonuçları Şekil 2’de verilmiştir.

XRD analizi ile elde edilen tüm kırınım pikleri literatür değerleri ile tutarlı olan altıgen yapıya indekslenebilir (JCPDS 33

-0664) (Qurashi, Zhong, & Alam, 2010). Sentezlenen α -Fe₂O₃ nanopartikülleri için $2\theta = 24^\circ, 33^\circ, 35^\circ, 41^\circ, 49^\circ, 54^\circ, 57^\circ, 62^\circ, 64^\circ, 69^\circ, 72^\circ, 75^\circ$ ve 78° değerlerinde gözlemlenen tipik X ışını kırınım pikleri sırasıyla (012), (104), (110), (113), (024), (116), (112), (214), (300), (208), (10-10), (202) ve (306) düzlemlerini göstermektedir (Cao, Chen, Shen, & Long, 2011). XRD analizindeki (104) kırınımının tepe yoğunluğu diğer tepe noktaları ile karşılaştırıldığında daha yüksektir. Buda, α -Fe₂O₃’ün oldukça kristal yapı sergilediğini göstermektedir. Nanopartiküllerin boyutu Scherrer denklemi ile hesaplandığında ortalama çap 97 nm olarak belirlenmiştir (Şenol, 2017). XRD analizi sonucunda safsızlık temsil eden hiçbir tepe noktası görülmemiştir.



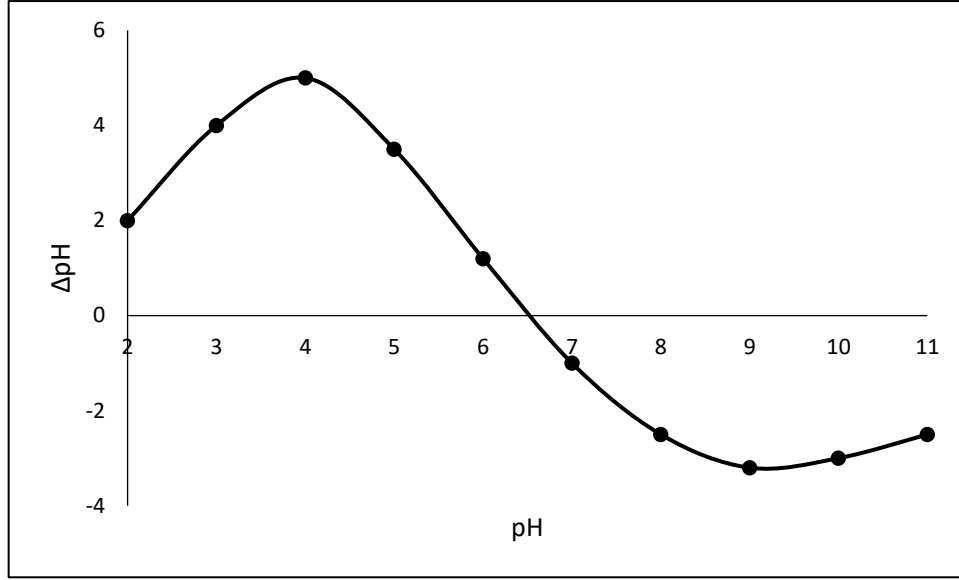
Şekil 1. Hidrotermal yöntemle sentezlenmiş α -Fe₂O₃ nanopartiküllerine ait SEM-EDS analizi



Şekil 2. Hidrotermal yöntemle sentezlenmiş α -Fe₂O₃ nanopartiküllerine ait XRD diyagramı

Optimum pH’ın belirlenmesi için 100 ppm 100 ml OG çözeltisi 10 farklı erlen içerisine konularak pH’ları 2 ile 11 aralığında ayarlandı. Ardından, erlenler içerisine 100 mg α -Fe₂O₃ adsorbantı eklenerek 30°C’ye ayarlanmış bir karıştırıcı içerisine konularak, 2 saat süreyle karıştırılmıştır. Daha sonra her bir erlendeki numuneler harici miktatsızlanma ile ayrılarak çözelti

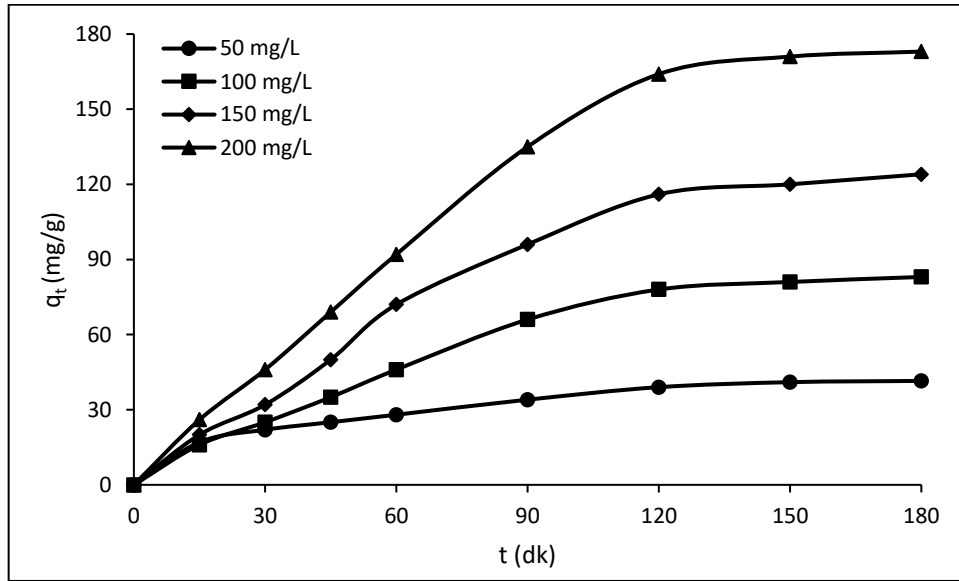
pH’sı ölçüldü. Şekil 3’de gösterildiği gibi, başlangıç pH’ından farkı hesaplanarak Δ pH bulundu ve başlangıç pH’ına karşı grafik edilerek adsorpsiyon denemeleri için Δ pH değerinin sıfır olduğu optimum çalışma pH değeri 6,5 olarak belirlenmiştir (Meetani et al., 2011).



Şekil 3. OG boyası için optimum adsorpsiyon pH'ının belirlenmesi

Belirlenmiş olan pH'da OG'nin $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ nanopartikülleri ile farklı konsantrasyonlarda adsorpsiyonu için denge süresinin belirlenmesi için 8'er adet 100'er ml OG çözeltisi hazırlanarak içerisine 100 mg $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ adsorbanı eklenip 30°C 'ye ayarlanmış bir karıştırıcı içerisine konulmuştur. Şekil 4'te gösterildiği gibi, belirli zaman aralıklarında biri kullanılmak kaydıyla farklı

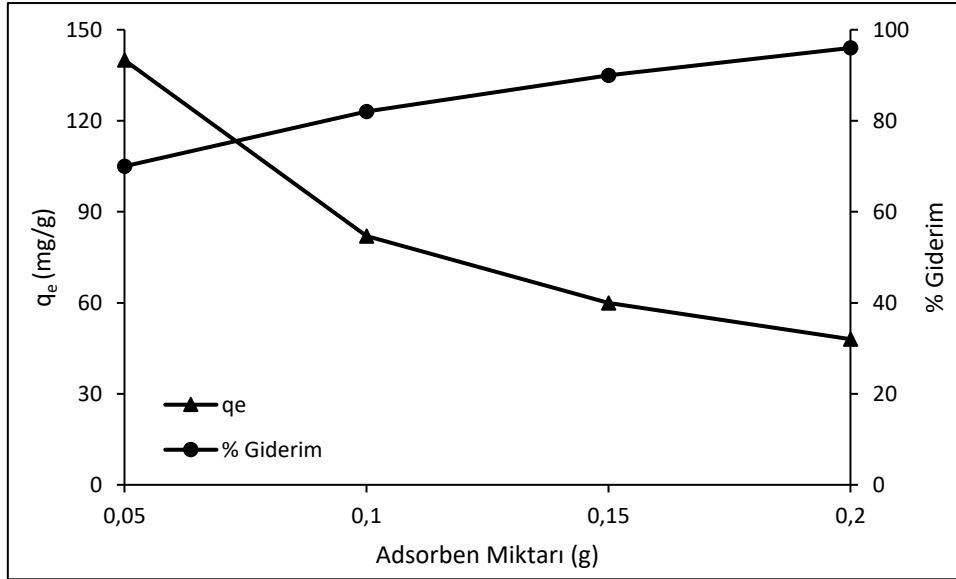
konsantrasyondaki numunelerin konsantrasyonu belirlendi ve grafik edildi. Katı-sıvı ara yüzündeki denge süresinin düşük konsantrasyonlarda daha kısa olmasına rağmen, daha yüksek konsantrasyonlarda denge değerleri elde edebilmek için tüm deneyler 180 dakikalık temas süresi ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. Başlangıç boya konsantrasyonunun ve temas süresinin qt üzerine etkisi

Şekil 4'ten de görüleceği gibi, adsorpsiyon ilk 120 dakikalık zaman diliminde çok hızlı bir şekilde gerçekleşirken, daha sonrasında sabitlenmeye başlamıştır. Başlangıçtaki adsorpsiyonun hızlı olmasının temel nedeni itici güç olan başlangıç konsantrasyonunun yüksek olması absorban yüzeyi ile OG arasında oluşan direncinin azalmasına neden olmasından kaynaklanmaktadır (Azmier & Alrozi, 2011).

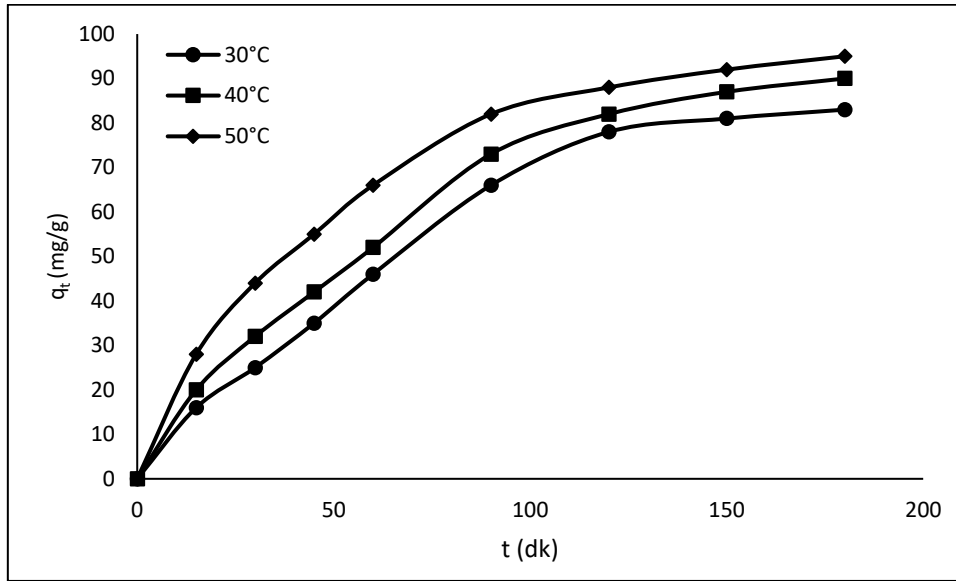
Belirlenmiş olan pH'da, farklı miktarlardaki $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ nanopartiküllerinin OG'nin adsorpsiyonuna etkisinin belirlenmesi için 4 adet 100'er ml OG çözeltisi hazırlanarak içerisine 50, 100, 150 ve 200 mg $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ adsorbanı eklenip 30°C 'ye ayarlanmış bir karıştırıcı içerisine konulmuştur. Elde edilen giderim yüzdesi ve qe değerleri farklı miktarlardaki adsorban miktarına göre değerleri Şekil 5'de gösterilmiştir.



Şekil 5. Adsorban miktarının q_e ve giderim üzerine etkisi

Adsorban miktarı arttıkça artan aktif yüzey alanına bağlı olarak boya uzaklaştırma oranı artmıştır (Kılıç & Janabi, 2017). Artan adsorban miktarı aynı zamanda sistemdeki mevcut kalan boya miktarının azalması dolayısıyla adsorpsiyon hızı azalmıştır. Doymamış aktif yüzey alanındaki artışa bağlı olarak adsorpsiyon kapasitesinde yoğun bir azalma meydana gelmiştir (Kılıç & Janabi, 2017).

Sıcaklığın adsorpsiyon üzerine etkisi incelemek amacıyla 30, 40 ve 50°C'de 100 mg/L'lik 100 ml OG boyasına 100 mg α -Fe₂O₃ nanopartikülleri eklenerek ayarlanmış bir karıştırıcı içerine konulmuştur. Farklı sıcaklıklar için elde edilen adsorbe edilen OG miktarına karşı zaman grafiği Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Sıcaklığın q_t üzerine etkisi

Adsorpsiyon üzerine etki eden en önemli parametrelerden biri olan sıcaklığın artmasıyla adsorblanan OG miktarı artışı Şekil 6'da görülmektedir. Elde edilen sonuçlar adsorpsiyon işleminin endotermik olduğunu ortaya koymaktadır.

Artan sıcaklık boyarmadde moleküllerinin entalpilerinde artışa sebep olarak adsorban üzerinde aktif sitelere erişimini ve

etkilemesini kolaylaştırmaktadır (Aljeboree, Alshirifi, & Alkaim, 2017). Buna bağlı olarak da adsorplanan OG miktarı artmaktadır.

Adsorpsiyon izotermeleri, adsorban ile adsorbat arasındaki ilişkiyi açıklayabilmek için değerlendirildi. Elde edilen veriler Langmuir ve Freundlich izotermeleri ile analiz edildi. Kullanılan izotermelere ait denklemler ve sabitler Tablo 1'de verilmiştir.

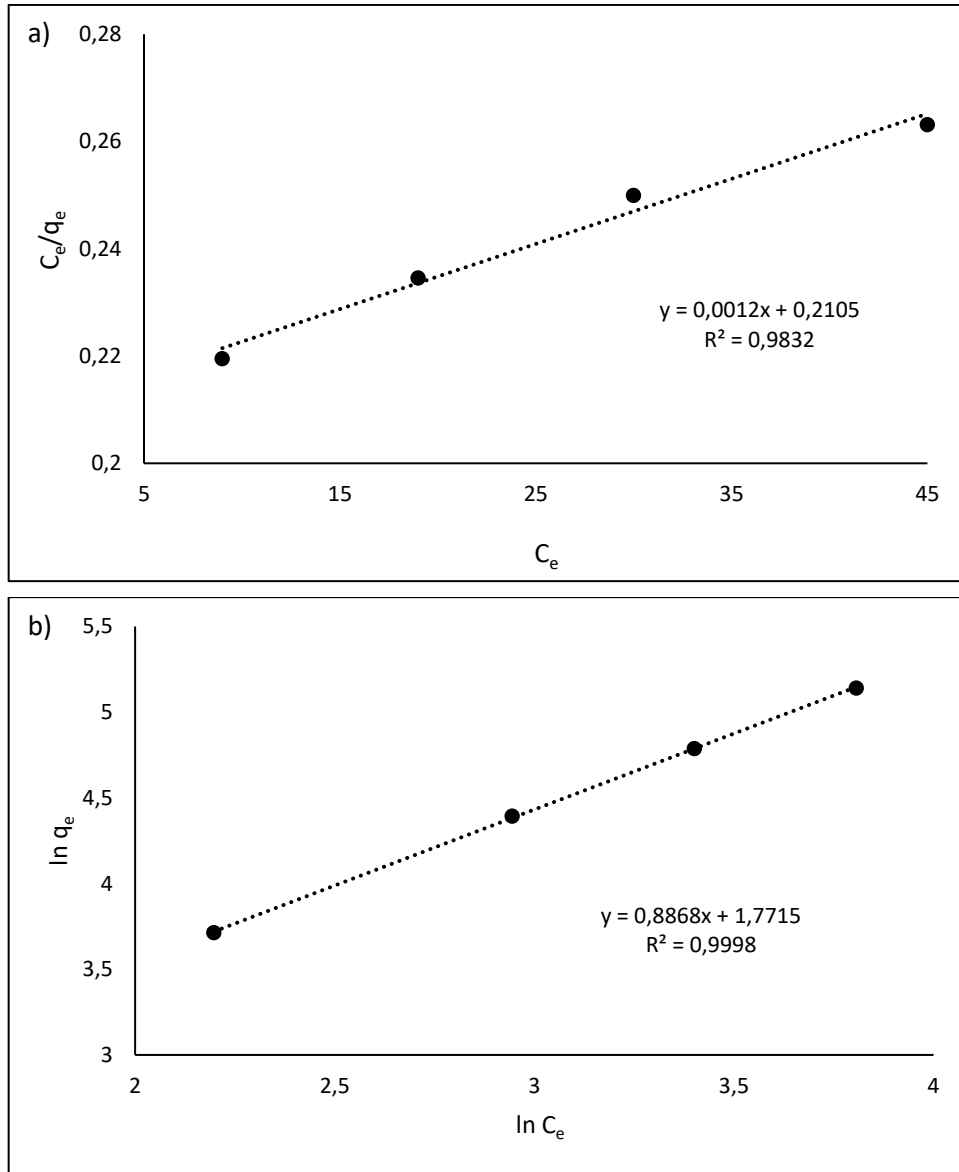
Tablo1. Denge verilerini analiz etmek için kullanılan izotermeler

İzoterm	Denklemler	İzoterm sabitleri	Referans
Langmuir	$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m K_L} + \frac{C_e}{q_m}$ (4)	q_m : maksimum adsorpsiyon kapasitesi K_L : Langmuir adsorpsiyon sabiti	(Patiha, Herald, Hidayat, & Firdaus, 2016)
Freundlich	$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e$ (5)	K_F : Freundlich sabiti n : adsorban-adsorbat sistemi için sabittir	(Van der Bruggen, 2015)

Langmuir izotermi için boyutsuz ayırma formülü R_L , Tablo 1’de elde edilmiş sabitler kullanılarak aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanmıştır. Adsorpsiyonun $R_L=0$ için geri döndürülemez, $R_L=1$ için doğrusal ve $0 < R_L < 1$ için uygun olduğunu göstermektedir (Igwe & Abia, 2007).

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L C_0} \quad (6)$$

Freundlich izotermi için verilmiş denklemde yer alana n değeri 1 ile 10 arasında değiştiğinde, adsorpsiyonun uygun olduğu kabul edilmektedir (Gözeten & Savran, 2018).



Şekil 7. (a) Langmuir ve (b) Freundlich izoterm eğrileri (adsorban miktarı = 0.1 g; temas süresi = 180 dakika, pH = 6,5, sıcaklık = 30°C)

Elde edilen izoterm modellerine ait grafikler Şekil 7’de ve istatistiksel analizle elde edilen sonuçlar Tablo 2’de verilmiştir. 30°C’de OG’nin α -Fe₂O₃ adsorpsiyonu için en uygun modelin

0,999 ile Freundlich izotermi olduğu belirlenmiştir. Langmuir denklemindeki R_L=0,637 ve Freundlich izotermindeki n=1,13 g/L adsorpsiyonun uygun olduğunu göstermektedir.

Tablo 2. OG'nin α -Fe₂O₃ 'e adsorpsiyonu için modellerin izoterm sabitleri ve korelasyon katsayıları

Langmuir				Freundlich		
R ²	q _m	K _L	R _L	R ²	K _F	n
0,9832	334	0,0057	0,637	0,9998	5,88	1,13

Adsorpsiyon mekanizması adsorpsiyonun hangi basamakta kontrol edildiğini belirlemek açısından son derece önemlidir. Bu nedenle, literatürde birçok kinetik model ortaya konmuştur (Aydin, Özmetin, Korkmaz, & Fil, 2017; Kajjumba, Emik,

Öngen, Özcan, & Aydın, 2018). Bu çalışmada, sıklıkla literatürde kullanılan yalancı birinci merteye, yalancı ikinci merteye ve intra partikül difüzyonu test edilmiştir. Kinetik modellere ait denklemler Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Adsorpsiyon için uygulanan kinetik modeller

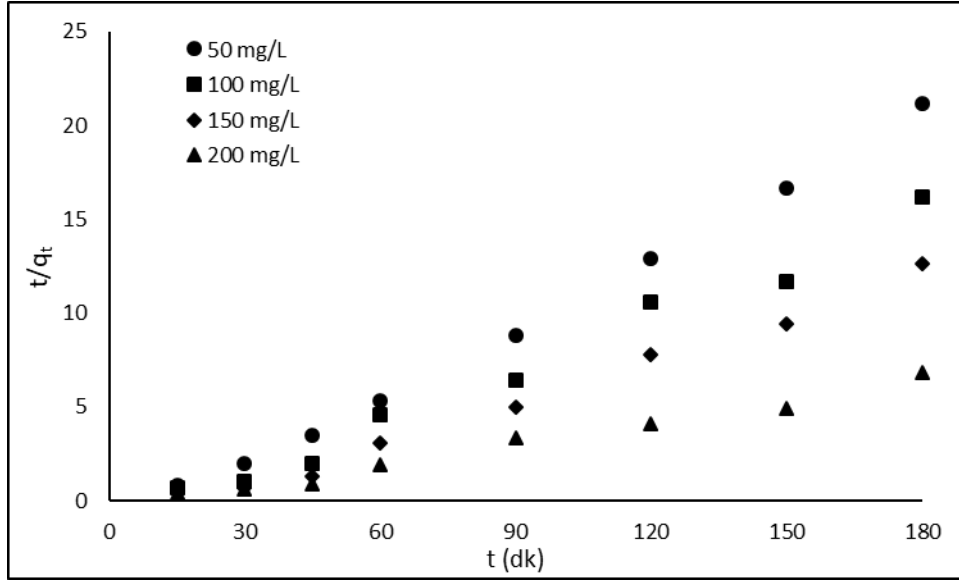
Kinetik Model	Denklem	Model sabitleri	Referans
Yalancı Birinci Merteye	$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{K_1}{2,303} t$ (7)	K ₁ : yalancı birinci merteye hız sabiti	(Şenol, Gürsoy, Şimşek, Özer, & Karakuş, 2020)
Yalancı İkinci Merteye	$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e}$ (8)	K ₂ : yalancı birinci merteye hız sabiti	(Chen, Wang, Lyu, Bai, & Guo, 2020)
Intra Partikül Difüzyonu	$q_t = K_i t^{\frac{1}{2}} + c$ (9)	K _i : intra partikül difüzyonu sabiti	(Pholosi, Naidoo, & Ofomaja, 2020)

Deneyel veriler kullanılarak her bir kinetik model için grafikler çizilerek Tablo 4’te özetlenmiştir. Kinetik modellere ait R² değerleri incelendiğinde en yüksek değe Yalancı İkinci Mertebenin sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca, hesaplanan denge değerleri ile deneylerle belirlenen değerlerin uyum

içerisinde olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, OG boyasının α -Fe₂O₃ nanopartikülleri üzerindeki adsorpsiyonunun Yalancı İkinci Merteye uyduğu ortaya konmuştur. Yalancı ikinci merteye ait sonuç grafiği Şekil 8’de gösterilmiştir.

Tablo 4. Farklı kinetik model için kinetik sabitler

C ₀ (mg. L ⁻¹)	q _e .deneyel (mg.g ⁻¹)	Yalancı Birinci Merteye			Yalancı İkinci Merteye			Intra Partikül Difüzyonu		
		K ₁ (dk ⁻¹)	q _e .hesaplanan (mg.g ⁻¹)	R ²	K ₂ (mg. g ⁻¹ . dk ⁻¹)	q _e .hesaplanan (mg.g ⁻¹)	R ²	K _i (mg. g ⁻¹ . dk ^{-1/2})	q _e .hesaplanan (mg.g ⁻¹)	R ²
50	41,7	0,078	10,233	0,8387	0,068	41,3	0,996	1,256	38,4	0,965
100	82,8	0,170	6,055	0,6767	0,070	84,6	0,983	2,265	74,6	0,955
150	121,3	0,180	8,132	0,6572	0,071	122,8	0,987	3,684	109,5	0,941
200	174,3	0,189	10,290	0,6355	0,074	176,4	0,982	3,915	164,9	0,947



Şekil 8. Yalancı ikinci derece model sonuçları

Adsorpsiyon termodinamiği incelemelerinde öncelikle adsorpsiyon işleminin kendiliğinden gerçekleşip gerçekleşmediğine karar verilmelidir. Gibbs serbest enerji değişimi (ΔG°), kendi kendine gerçekleşmenin bir göstergesidir ve bu nedenle önemli bir kriterdir (Fil, Korkmaz, & Özmetin, 2014). Sistemin ΔG° değerinin bulunması için aşağıdaki denklem kullanılmıştır (Sahu, Mall, & Srivastava, 2007).

$$\Delta G^\circ = -R.T. \ln K_c \quad (10)$$

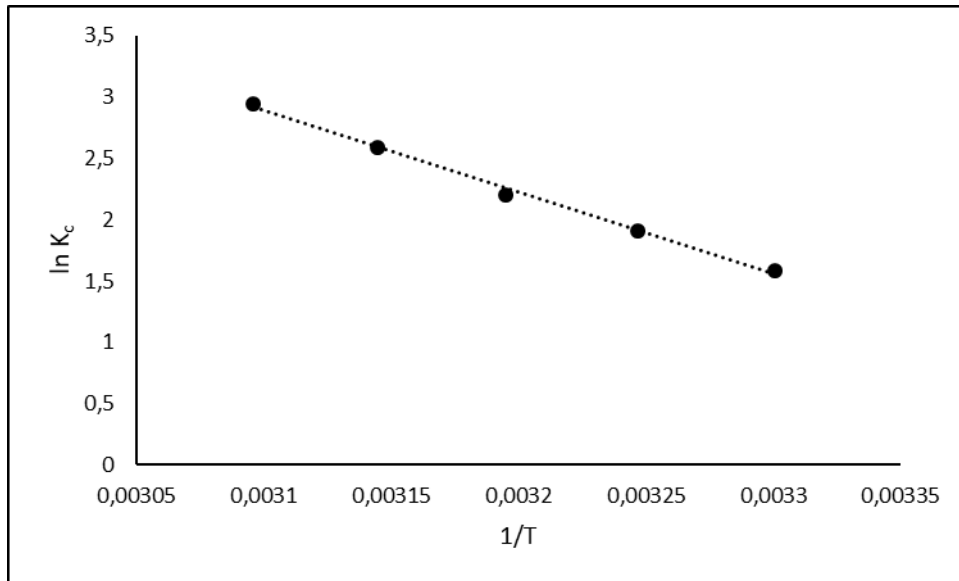
Burada, R evrensel gaz sabiti (8,314 J/mol. K), T sıcaklık (K) ve K_c adsorban yüzeyin afinitesini gösteren dağılım katsayısıdır. K_c aşağıdaki denklem ile hesaplanmıştır (Lacin, Haghghatnia, Demir, & Sevim, 2019).

$$K_c = \frac{q_e}{C_e} \quad (11)$$

Ayrıca, adsorpsiyon termodinamiği için diğer önemli parametreler olan standart entalpi (ΔH°) ve standart entropi (ΔS°) parametreleri, aşağıda verilmiş olan Van't Hoff denklemi kullanılarak, $\ln K_c$ 'ye karşı $1/T$ grafiğinin eğim ve kesişim değerleri kullanılarak belirlenmiştir ve sonuçlar Şekil 9'da verilmiştir (Lima, Hosseini-Bandegharaci, Moreno-Piraján, & Anastopoulos, 2019).

$$\ln K_c = \frac{\Delta S^\circ}{R} - \frac{\Delta H^\circ}{R.T} \quad (12)$$

Sistemin hesaplanan ΔG° , ΔH° ve ΔS° değerleri Tablo 5'te verilmiştir.



Şekil 9. Van't Hoff denklem grafiği

Tablo 5. Sistemin belirlenen termodinamik sabitleri

T(K)	ΔG° (kJ/mol)	ΔH° (kJ/mol)	ΔS° (kJ/mol. K)
303	-3,994	55,205	0,195
308	-4,857		
313	-5,718		
318	-6,813		
323	-7,907		

OG'nin α -Fe₂O₃ nanopartiküllerine adsorpsiyon işleminin endotermik olduğu ΔH° (55,205 kJ/mol) değerinin pozitif olarak belirlenmesi ile doğrulanmıştır. α -Fe₂O₃ adsorbantı için ΔS° değerinin (0,195 kJ/mol) pozitif olması, OG moleküllerinin α -Fe₂O₃ yüzeyinin aktif bölgelerine adsorpsiyonu sırasında katı-sıvı ara yüzünde gelişigüzelğin arttığını göstermektedir (Nath, Chakraborty, & Bhattacharjee, 2014). Farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen deneylerde, sıcaklığın artmasıyla negatif değeri artan ΔG° değerleri denge kapasitesinin arttığını ve gerçekleşen işlemin kendiliğinden gerçekleştiğini göstermektedir. ΔG° değerinin fiziksel adsorpsiyon için -20 ile 0 kJ/mol ve kimyasal adsorpsiyon için -80 ile -400 kJ/mol aralığında olduğu önceki çalışmalar ile ortaya konmuştur (Hümpola, Odetti, Fertitta, & Vicente, 2013). OG'nin α -Fe₂O₃ nanopartikülleri yüzeyine adsorpsiyon işleminin fiziksel adsorpsiyonla gerçekleştiği elde edilen ΔG° değerlerinin -20 ile 0 kJ/mol aralığında olmasından belirlenmiştir.

4. Sonuç

Bu çalışmada α -Fe₂O₃ nanopartikülleri hidrotermal yöntem kullanılarak sentezlenmiştir. Sentezlenmiş olan nanopartiküllerin karakterizasyonu için SEM ve XRS analizleri kullanılmıştır. SEM analizi sonuçları nanopartiküllerin oluşumunu tamamlamış ve homojen bir dağılım sergilediğini, EDS analizi numunedeki demir ve oksijen varlığını ve XRD analizi ise nanopartiküllerin altıgen kristal yapıya sahip olduklarını ortaya koymuştur. Sentezlenen α -Fe₂O₃ nanopartiküllerinin adsorbant etkisi ise tekstilde sıklıkla kullanılan OG boyası üzerinde değerlendirilmiştir. Deneysel veriler adsorpsiyon izotermine uygulandığında en uygun modelin Freundlich izotermi olduğu ortaya konmuştur. Langmuir izotermine göre maksimum adsorpsiyon kapasitesi 333,33 mg/g olarak belirlenmiştir. Adsorpsiyon mekanizmasının belirlenebilmesi için farklı kinetik modeller uygulanmış, R2 değerleri incelenmiş ve yalnızca ikinci mertebenin adsorpsiyon kinetiğine uygun olduğu bulunmuştur. Termodinamik veriler, OG'nin α -Fe₂O₃ üzerine adsorpsiyonun endotermik olduğunu, düzensizlik derecesinin arttığını, fiziksel adsorpsiyonun gerçekleştiğini ve kendiliğinden yürüyen bir sistem olduğunu ortaya koymuştur. Tüm bu sonuçlar göz önüne alındığında, α -Fe₂O₃ nanopartikülleri yüksek adsorpsiyon kapasitesi, çevre dostu, yüksek çözelti ortamından uzaklaşma etkinliği, kolay ve ucuz sentezlenebilmesi nedenlerinden dolayı yaygın olarak adsorbant olarak kullanılabilir.

Kaynaklar

- Abdel-Karim, R., Reda, Y., & Abdel-Fattah, A. (2020). Nanostructured Materials-Based Nanosensors. *Journal of the Electrochemical Society*, 167(3), 037554.
- Akalin, H. A., Hicsonmez, U., & Yılma, H. (2017). Removal of cesium from Aqueous Solution by Adsorption onto Sivasyıldızeli (Türkiye) Vermiculite: Equilibrium, Kinetic and Thermodynamic studies. *Journal of Turkish General Studies*, 5(1), 85-116.
- Aljeboree, A. M., Alshirifi, A. N., & Alkaim, A. F. (2017). Kinetics and equilibrium study for the adsorption of textile dyes on coconut shell activated carbon. *Arabian journal of chemistry*, 10, S3381-S3393.
- Aydin, Ö., Özmetin, C., Korkmaz, M., & Fil, B. A. (2017). A semiempirical kinetic model for removal of iron (Fe³⁺) from saturated boric acid solution by ion exchange using amberlite IR-120 resin. *Particulate Science and Technology*, 35(5), 505-511.
- Azmier, M., & Alrozi, R. (2011). Removal of malachite green dye from aqueous solution using rambutan peel-based activated carbon: Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies. *Chemical Engineering Journal- CHEM ENG J*, 171, 510-516.
- Bhalara, P., Punetha, D., & Balasubramanian, K. (2015). Kinetic and isotherm analysis for selective thorium (IV) retrieval from aqueous environment using eco-friendly cellulose composite. *International journal of environmental science and technology*, 12(10), 3095-3106.
- Cao, R.-b., Chen, X.-q., Shen, W.-h., & Long, Z. (2011). A facile route to synthesize nano-hematite colloid. *Materials Letters*, 65(21), 3298-3300.
- Cheknane, B., Bouras, O., Baudu, M., Basly, J.-P., & Cherguielaine, A. (2010). Granular inorgano-organo pillared clays (GIOC)s: Preparation by wet granulation, characterization and application to the removal of a Basic dye (BY28) from aqueous solutions. *Chemical Engineering Journal*, 158(3), 528-534.
- Chen, T., Wang, Q., Lyu, J., Bai, P., & Guo, X. (2020). Boron removal and reclamation by magnetic magnetite (Fe₃O₄) nanoparticle: An adsorption and isotopic separation study. *Separation and Purification Technology*, 231, 115930.
- De Gisi, S., Lofrano, G., Grassi, M., & Notarnicola, M. (2016). Characteristics and adsorption capacities of low-cost sorbents for wastewater treatment: A review. *Sustainable Materials and Technologies*, 9, 10-40.
- Dontsova, T. A., Nahimiak, S. V., & Astrelin, I. M. (2019). Metaloxide Nanomaterials and Nanocomposites of

- Ecological Purpose. *Journal of Nanomaterials*, 2019, 5942194.
- Fil, B., Korkmaz, M., & Özmetin, G. (2014). An empirical model for adsorption thermodynamics of copper (II) from solutions onto illite clay-batch process design. *Journal of the Chilean Chemical Society*, 59(4), 2686-2691.
- Gözeten, İ., & Savran, A. (2018) Metil Kırmızısının Silikajel Üzerindeki Çözeltiden Adsorpsiyonu: Denge İzotermi Ve Kinetik İncelemeler. *Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(2), 581-589.
- Húmpola, P., Odetti, H., Fertitta, A. E., & Vicente, J. L. (2013). Thermodynamic analysis of adsorption models of phenol in liquid phase on different activated carbons. *Journal of the Chilean Chemical Society*, 58(1), 1541-1544.
- Iconaru, S. L., Guégan, R., Popa, C. L., Motelica-Heino, M., Ciobanu, C. S., & Predoi, D. (2016). Magnetite (Fe₃O₄) nanoparticles as adsorbents for As and Cu removal. *Applied Clay Science*, 134, 128-135.
- Igwe, J. C., & Abia, A. (2007). Adsorption isotherm studies of Cd (II), Pb (II) and Zn (II) ions bioremediation from aqueous solution using unmodified and EDTA-modified maize cob. *Eclética Química*, 32(1), 33-42.
- Kajjumba, G. W., Emik, S., Öngen, A., Özcan, H. K., & Aydın, S. (2018). Modelling of adsorption kinetic processes—errors, theory and application. In *Advanced sorption process applications: IntechOpen*.
- Katheresan, V., Kansedo, J., & Sie Yon, J. L. (2018). Efficiency of Various Recent Wastewater Dye Removal Methods: A Review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6.
- Kaur, S., Rani, S., & Mahajan, R. K. (2013). Adsorption Kinetics for the Removal of Hazardous Dye Congo Red by Biowaste Materials as Adsorbents. *Journal of Chemistry*, 2013, 628582.
- Khan, S., Pathak, B., & Fulekar, M. (2017). Spherical Surfaced Magnetic (Fe₃O₄) Nanoparticles as Nano Adsorbent Material for Treatment of Industrial Dye Effluents. *International Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 13(2), 169-175.
- Kılıç, M., & Janabi, A. S. K. (2017). Investigation of Dyes Adsorption with Activated Carbon Obtained from *Cordia myxa*. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 1(2), 87-104.
- Kiziltaş, H., & Tekin, T. (2017). Increasing of photocatalytic performance of TiO₂ nanotubes by doping AgS and CdS. *Chemical Engineering Communications*, 204(8), 852-857.
- Lacin, O., Haghghatnia, A., Demir, F., Sevim, F., & Laçın, O. (2019). Adsorption characteristics and behaviors of natural red clay for removal of BY28 from aqueous solutions. *Int J Trend Sci Res Dev*, 3(2), 1037-1047.
- Lima, E. C., Hosseini-Bandegharaei, A., Moreno-Piraján, J. C., & Anastopoulos, I. (2019). A critical review of the estimation of the thermodynamic parameters on adsorption equilibria. Wrong use of equilibrium constant in the Van't Hoof equation for calculation of thermodynamic parameters of adsorption. *Journal of Molecular Liquids*, 273, 425-434.
- Ma, J., Lian, J., Duan, X., Liu, X., & Zheng, W. (2010). α -Fe₂O₃: Hydrothermal Synthesis, Magnetic and Electrochemical Properties. *The Journal of Physical Chemistry C*, 114(24), 10671-10676.
- Manyangadze, M., Chikuruwo, N. H. M., Narsaiah, T. B., Chakra, C. S., Radhakumari, M., & Danha, G. (2020). Enhancing adsorption capacity of nano-adsorbents via surface modification: A review. *South African Journal of Chemical Engineering*, 31, 25-32.
- Meetani, M., Rauf, M., Hisaindee, S., Khaleel, A., Alzamly, A., & Ahmad, A. (2011). Mechanistic studies of photoinduced degradation of Orange G using LC/MS. *RSC Adv.*, 1, 490-497.
- Mia, R., Selim, M., Shamim, A., Mugdho, M. C., Sultana, S., Armin, M., Naznin, H. (2019). Review on various types of pollution problem in textile dyeing & printing industries of Bangladesh and recommendation for mitigation. *Journal of Textile Engineering*, 5, 220–226.
- Nath, A., Chakraborty, S., & Bhattacharjee, C. (2014). Bioadsorption of industrial dyes from aqueous solution onto water hyacinth (*Eichornia crassipes*): equilibrium, kinetic, and sorption mechanism study. *Desalination and Water Treatment*, 52(7-9), 1484-1494.
- Patiha, Heraldry, E., Hidayat, Y., & Firdaus, M. (2016). The langmuir isotherm adsorption equation: The monolayer approach. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 107, 012067.
- Pholosi, A., Naidoo, E. B., & Ofomaja, A. E. (2020). Intraparticle diffusion of Cr(VI) through biomass and magnetite coated biomass: A comparative kinetic and diffusion study. *South African Journal of Chemical Engineering*, 32, 39-55.
- Qurashi, A., Zhong, Z., & Alam, M. W. (2010). Synthesis and photocatalytic properties of α -Fe₂O₃ nanoellipsoids. *Solid State Sciences*, 12, 1516-1519.
- Rashed, M. N. (2013). Adsorption technique for the removal of organic pollutants from water and wastewater. *Organic pollutants-monitoring, risk and treatment*, 167-194.
- Roto, R. (2018). Surface modification of Fe₃O₄ as magnetic adsorbents for recovery of precious metals. In *Advanced Surface Engineering Research: IntechOpen*.
- Sahu, A. K., Mall, I. D., & Srivastava, V. C. (2007). Studies on the adsorption of furfural from aqueous solution onto low-cost bagasse fly ash. *Chemical Engineering Communications*, 195(3), 316-335.
- Sen, T. (2015). Physical chemical and biological treatment processes for water and wastewater (pp. 9-11). *Nova Science Publishers*.
- Şenol, Z. M., Gürsoy, N., Şimşek, S., Özer, A., & Karakuş, N. (2020). Removal of food dyes from aqueous solution by chitosan-vermiculite beads. *International Journal of Biological Macromolecules*, 148, 635-646.
- Van der Bruggen, B. (2015). Freundlich Isotherm. In E. Drioli & L. Giorno (Eds.), *Encyclopedia of Membranes* (pp. 1-2). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Wiersum, A. D., Chang, J.-S., Serre, C., & Llewellyn, P. L. (2013). An adsorbent performance indicator as a first step evaluation of novel sorbents for gas separations: application to metal–organic frameworks. *Langmuir*, 29(10), 3301-3309.
- Xu, S., Niu, X., Hou, Z., Gao, C., Lu, J., Pang, Y., Joshy, K. (2020). A multifunctional gelatine–quaternary ammonium copolymer: An efficient material for reducing dye emission in leather tanning process by superior anionic dye adsorption. *Journal of Hazardous Materials*, 383, 121142.
- Yılmaz M. S. (2020). A Study of CO₂ Adsorption Behaviour and Kinetics on KIT-6. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (19), 48-55.



Atmosferik Plazma Teknolojisi Kullanılarak Cep Telefonu Koruma Malzemelerine Antimikrobiyal Özellik Kazandırılması

Ece İrem Çoban¹, Gülşah Arslan², Fikret Keven Karademir³, Fatma Ayhan⁴, Hakan Ayhan^{5*}

¹İTÜ ETA Vakfı Doğa Koleji, Zonguldak Ereğli Kampüsü, Zonguldak, Türkiye. (ORCID: 0000-0002-8745-5184), ecceiremcoban@hotmail.com

²Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, Biyokimya Anabilimdalı, Biyokimya& Biyomalzemeler Araştırma Grubu (BIOMATREG), Muğla, Türkiye. (ORCID: 0000-0002-4362-2112), gulsah.arslan@outlook.com

³Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Marmaris, Muğla, Türkiye. (ORCID: 0000-0003-0523-8221), fkademir@mu.edu.tr

⁴Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, Biyokimya Anabilimdalı, Biyokimya& Biyomalzemeler Araştırma Grubu (BIOMATREG), Muğla, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2220-4496), fayhan@mu.edu.tr

⁵Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, Biyokimya Anabilimdalı, Biyokimya& Biyomalzemeler Araştırma Grubu (BIOMATREG), Muğla, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2911-1655), hayhan48@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 1 Ekim 2020 ve Kabul Tarihi 16 Aralık 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.798436)

ATIF/REFERENCE: Çoban, E. İ., Arslan, G., Karademir, F. K., Ayhan, F. & Ayhan, H. (2021). Atmosferik Plazma Teknolojisi Kullanılarak Cep Telefonu Koruma Malzemelerine Antimikrobiyal Özellik Kazandırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 53-66.

Öz

Sağlık çalışanları arasında zayıf el hijyeni uyumluluğu ve dezenfekte edilmiş yüzeylerin elle temas yoluyla yeniden kontaminasyonu, antimikrobiyal yüzey kaplamalarına olan gereksinimi ortaya koymuştur. Sağlık çalışanlarının telefonlarının yüzeylerinde ise nozokomiyal enfeksiyonlara neden olan mikroorganizmaların bulunduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada sağlık çalışanlarının telefonlarının yüzeylerindeki mikroorganizmaların belirlenmesi ve cep telefonu koruma malzemelerine atmosferik plazma yöntemiyle antimikrobiyal özellik kazandırılması amaçlanmıştır.

Çalışmanın ilk aşamasında; tam teşekküllü bir hastanede çalışan 40 sağlık personelinin telefonlarının yüzeyinden eküvyon ile örnek alınmıştır. Mikrobiyolojik analizler sonucunda; sağlık çalışanlarının %90'ının telefonlarında çeşitli mikroorganizmaların ürediği belirlenmiştir. Bu mikroorganizmalardan metisiline dirençli *Staphylococcus aureus* (*S.aureus*), *Escherichia coli* (*E.coli*) ve *Streptococcus pyogenes* (*S.pyogenes*) antimikrobiyal telefon koruma malzemesi deneylerinde kullanılmak üzere izole edilmiştir.

İkinci aşamada; 7 telefon koruma ve 2 ekran koruyucu olmak üzere toplam 9 materyal deneylerde kullanılmak üzere belirlenmiştir. Bu materyallerden 4 telefon koruma 3D yazıcı ile Termoplastik Poliüretan (TPU) ve Polilaktik Asit (PLA) filamentten 0,5mm ve 1,0 mm kalınlığında yaptırılmıştır. Ticari olarak ise Polikarbonat (PC®), TPU® ve TPU/silikon® 3 telefon koruma temin edilmiştir. Ekran koruyucu olarak temperli cam (*flexi*®) ve nanocam (*nano*®) 2 örnek değerlendirilmiştir. Deney ve kontrol gruplarında kullanılmak üzere 9'ar örnek 1 cm çapında kesilmiş deney örneklerine plazma polimerizasyon işlemi 3 amper 1 dakika uygulanmıştır. Kontrol grubu örneklerine hiçbir işlem uygulanmamıştır. Deney ve kontrol grubu örnekleri metisiline dirençli *S.aureus*, *E.coli* ve *S.pyogenes* içeren besi yerlerine yerleştirilerek inkübasyona bırakılmıştır. Örneklerin antimikrobiyal aktiviteleri disk difüzyon yöntemi ile değerlendirilerek karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada 3 amp. 1 dakika uygulanan plazma modifikasyonu sonucunda deney örneklerinde antimikrobiyal özellik olduğu saptanmıştır. Özellikle ticari olarak temini sağlanan TPU/silikon® ve PC® telefon korumaları kontrol grubuna göre *S.pyogenes* üzerinde en güçlü antimikrobiyal özellik göstermiştir. Sağlık çalışanları için plazma polimerizasyonu uygulanmış antimikrobiyal telefon koruma malzemesi üretilmesi, kullanılması ve sonuçlarının değerlendirilmesi önerilebilir.

Anahtar Kelimeler: Cep telefon koruma malzemeleri, Atmosferik plazma yöntemi, Antimikrobiyal etki.

* Sorumlu Yazar: hayhan48@gmail.com

Adding Antimicrobial Properties to Mobile Phone Protection Materials by Using Atmospheric Plasma Technology

Abstract

Poor hand hygiene cooperation among health-care workers and re-contamination of disinfected surfaces by hand-contact, proves the need for antimicrobial surface coatings. It was stated that microorganisms responsible with nosocomial infections were present on the surfaces of mobile phones of health care workers. The purpose of this study was to detect the microorganisms on the surfaces of mobile phones of health care workers and acquisition of mobile phone coating materials with antimicrobial properties using atmospheric plasma technique.

In the first phase of study; specimens were obtained from surfaces of mobile phones of 40 health care workers' working in a comprehensive hospital with ecuvion sticks during the first phase of the study. It was observed that various microorganisms cultivated in 90% of mobile phones of health care workers according to the microbiologic analyses. Among these microorganisms meticillin resistant *Staphylococcus aureus* (*S.aureus*), *Escherichia coli* (*E.coli*) ve *Streptococcus pyogenes* (*S.pyogenes*) were isolated in order to be used during antimicrobial mobile phone coating material experiments.

In the second phase; totally 9 materials of which 7 of them mobile phone cases and 2 of them being screen protectors were designated for use in these experiments. Among those materials 4 phone cases were manufactured at 0.5 mm and 1 mm thickness from Thermoplastic Polyurethane (TPU) and Polylactic Acid (PLA) filament with 3D printer. Commercially 3 phone cases were manufactured from Polycarbonate (PC®), TPU® and TPU/silicone®. 2 specimens as Tempered glass (*flexi*®) and nanoglass (*nano*®) were evaluated as screen protectors. Plasma polymerization process was applied at 3 amper for 1 minute on 9 experimental specimens which were cut at 1 cm width. No procedures were applied to the control specimens. Experimental and control group specimens were left to incubation in mediums containing meticillin resistant *S. aureus*, *E. coli* and *S.pyogenes*. Antimicrobial activities of specimens were compared using disc diffusion technique.

It was detected that following 3 amper 1 minute plasma modification, experimental specimens acquired antimicrobial properties. Especially, commercially available TPU/silicone® and PC® phone cases demonstrated higher antimicrobial properties against *S.pyogenes* compared with control groups. Plasma polymerization applied antimicrobial phone cover material manufacturing, usage and evaluation of the results can be suggested for health care workers.

Keywords: Mobile phone covers materials, Atmospheric plasma technique, Antimicrobial effect.

1. Giriş

Dünya çapında milyonlarca hasta her yıl sağlık hizmeti ile ilişkili enfeksiyonlardan etkilenmekte ve bu durum ülkelerin ekonomilerinde de yük oluşturmaktadır (Colum, Dunne, ve ark., 2017). Hastane ortamında sağlık çalışanları tarafından sıklıkla kullanılan akıllı telefonlar nozokomiyal (hastane) enfeksiyonların gelişimine neden olması açısından riskli araçlar haline dönüşmeye başlamıştır (Chang ve ark., 2017). Sağlık çalışanlarının ellerinde ve akıllı telefonlarında çeşitli türlerde bakteriyel kontaminasyon olduğu belirtilmiş, sağlık çalışanlarının akıllı telefon kullanımının nozokomiyal enfeksiyonun bir kaynağı olabileceği ifade edilmiştir (Ulger ve ark., 2009). Akıllı telefonlar ve bakteriyel çapraz kontaminasyon arasındaki ilişkinin 17 ülkeden 4876 sağlık çalışanının verileri ile değerlendirildiği çalışmada; sağlık çalışanlarının akıllı telefonlarında nozokomiyal enfeksiyon etkenlerinin sıklığının %10 ile %100 arasında değiştiği bulunmuştur (Ulger ve ark., 2015). Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de bir sorun olarak karşımıza çıkan nozokomiyal enfeksiyonların oranının %5-15 arasında değiştiği kabul edilmektedir. Nozokomiyal enfeksiyona bağlı ölümler, gelişmiş ülkelerde ilk 10 ölüm nedeni arasındadır (Sayıştay Raporu, 2007). Nozokomiyal enfeksiyonlar, hastanede kalış süresini, tedavi maliyetini ve işgücü kaybını artırmakta, özellikle bağışıklık sistemi zayıf olan hastalarda ölümlere yol açabilmektedir. Nozokomiyal enfeksiyonlar; hastalar dışında; mikroorganizma ile teması olan sağlık çalışanları, refakatçi ve ziyaretçiler için de yüksek risk oluşturmaktadır (Sayıştay Raporu, 2007).

Dünya genelinde hastanelerde ve toplumda nozokomiyal enfeksiyona neden olan bakterilerin başında *Staphylococcus aureus* (*S.aureus*), *Escherichia coli* (*E.coli*), *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Acinetobacter* gelmektedir (Gürler, 2005). Nozokomiyal epidemilere yol açan mikroorganizmalardan epidemilerin yaklaşık yarısına neden olan *metisiline dirençli S.aureus* olduğu saptanmıştır (Cercenado, 2000).

Bu bakterilerde her geçen gün artan direnç nedeniyle sorunlar da giderek artmaktadır. Hastalar ve sağlık çalışanları açısından önemli bir sorun olan bu mikroorganizmalarla temas ve bulaştırma riski yüksek olmasına karşın koruyucu uygulamaların yetersiz kaldığı bilinmektedir (Gürler, 2005). Sağlık çalışanlarının cep telefonlarını; tuvalette kullanması, klinik ortamda kullanımını kısıtlamaması (Zakai ve ark., 2016), sürekli hastalarla temas halinde olması ve nadiren cep telefonlarını temizlemek için dezenfektan kullanmaları (Zakai ve ark. 2016; Ulger ve ark. 2015) enfeksiyon riskini arttırmaktadır. Akıllı telefonların bakteri yükünün fazla olmasının yanı sıra sağlık personelinin el hijyeni uyum oranlarının düşük olması da nozokomiyal enfeksiyonların gelişimine neden olmaktadır (Nargiz Koşucu ve ark., 2015). Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de önemli bir sorun olan nozokomiyal enfeksiyonlar, sağlık çalışanlarının telefonlarında bulunan ilaca dirençli bakteriler ile sağlık çalışanının tekrar kendisine, hastalara ve topluma bulaşabilir (Banawas ve ark., 2018). Sağlık personelinin el hijyenine uyum sorunu ve telefonlarını dezenfektan ile temizleme konusundaki eksiklikleri, akıllı telefonlara antimikrobiyal özellik kazandırılması görüşünü ortaya çıkarmıştır. Nitekim akıllı telefonlardaki bakteriyel

kontaminasyona karşı koruyucu önlemlerin geliştirilmesi gerektiği de ifade edilmektedir (Ülger ve ark., 2009).

Sağlık çalışanlarının telefonlarının koruma malzemelerine (telefon koruma ve ekran koruyucu) antimikrobiyal özellik kazandırılması amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmada, telefon koruma malzemelerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri araştırılmış ve diğer yöntemlere oranla avantajları göz önünde bulundurularak çevre dostu atmosferik plazma teknolojisi yöntem olarak belirlenmiştir. Atmosferik plazma; düşük sıcaklıklarda güçlü bir sterilizasyon sağlayabilmesi, polimer yüzeye yapışan mikroorganizmaları kısa sürede etkili bir şekilde inaktif edebilmesi, kimyasal ve su içermemesi, daha az enerji tüketimine neden olması, düşük maliyetli olması, koruma malzemesinin yapısına etki etmemesi, toksik atık bırakmadığından zararsız ve çevre dostu olması, plastik materyalleri kalıntı bırakmadan hızlıca sterilize etmesi nedeniyle avantajlı bir yöntemdir (Yasuda, 1984; Yangılar ve Oğuzhan, 2013). Laboratuvar koşullarında oluşturulabilen plazmalar termodinamik özelliklerine göre sıcak ve soğuk plazmalar diye sınıflandırılmaktadır (Fridman ve ark., 2007). Sürekli plazma ortamı sağlamak için en yaygın olarak kullanılan yöntem, “**elektriksel boşalım**”dır. Elektriksel yük boşalımıyla oluşturulan plazma genelde “**soğuk atmosferik plazma**” olarak adlandırılmaktadır. Soğuk atmosferik plazma kontamine olan yüzeylerin dekontaminasyonu, materyallerin yüzey işlenmesi, tıbbi aletlerin sterilizasyonu, gıda güvenliğinin sağlanması gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Soğuk atmosferik plazma sistemleri birçok vejetatif gram negatif ve gram pozitif bakteriler, mayalar, küfler ve endosporların dekontaminasyonunda başarılı bir şekilde kullanılmaktadır (Rod ve ark., 2012).

Hastane ortamında enfeksiyonların yayılımını engellemek için hastalar ve sağlık çalışanlarına yönelik antimikrobiyal özellik kazandırılmış ürünler (hasta ve personel tekstil ürünleri, araç ve gereçler) kullanılmaktadır. Ancak bakteriyel yükü fazla olan akıllı telefonlara antimikrobiyal özellik kazandırılmasına yönelik çalışmalara rastlanmamıştır. Bu çalışmada sağlık personelinin sürekli temas halinde bulunduğu farklı malzemelerden üretilmiş cep telefonu korumalarına (TPU, PC, PLA) ve ekran koruyuculara antimikrobiyal özellik kazandırılması amacıyla atmosferik plazma yöntemi kullanılmıştır. Geliştirilen antimikrobiyal telefon koruma malzemesinin nozokomiyal enfeksiyonların önlemesine sağlayacağı katkının yanı sıra enfeksiyon gelişme riski nedeniyle hastane ortamında veya evinde uzun süre diğer insanlardan izole yaşayan hastalar (kemoterapi alan, immün yetmezliği olan) için de koruyucu bir araç olabileceği düşünülmektedir. Bu araştırma ile antimikrobiyal özellik kazandırılan telefon koruma malzemeleri ile gelecekte üretilecek cep telefonu koruma ve ekran koruyucuların sağlık çalışanlarının kullanımına sunulmasıyla birlikte nozokomiyal enfeksiyonların sıklığının azaltılması, çapraz enfeksiyon riskinin engellenmesi, toplumdaki her bir bireyin olası patojenlerle karşılaşma riskinin azaltılması hedeflenmektedir.

2. Materyal ve Metod

Bu çalışmada, tam teşekküllü bir hastanede çalışan 40 sağlık personelinin ($n_{\text{hemşire}}=10$ ve $n_{\text{doktor}}=10$, $n_{\text{idari personel}}=10$ ve $n_{\text{yardımcı personel}}=10$) bireysel hijyen ve akıllı telefon kullanım özellikleri belirlenmiştir. Çalışmaya katılan 40 sağlık çalışanın akıllı telefonlarının yüzeylerinden jelli ve jelsiz eküvyon ile örnek

alınmıştır. Yüzey örnekleri katılımcıların telefonundan yaklaşık 6-7 saat sürede toplanmıştır. Örnekler katılımcıların telefonunun 1 cm²'lik yüzey alanından alınmıştır. Steril serum fizyolojik içerisindeki jelsiz eküvyonlar ve jelli eküvyonlar bekletilmeden laboratuvara getirilerek, mikrobiyolojik yüklerinin belirlenmesi için kanlı agar (%5 koyun kanlı) ve EMB (Eosin Methylen Blue) agara ekimleri yapılarak 37°C derecede 24 saat inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon süresi sonunda üremeler incelenerek identifikasyon için gram boyama, biyokimyasal (katalaz ve koagülaz) ve metisilin direnç deneyleri yapılmıştır. Metisilin direnç testi için disk difüzyon testi kullanılarak, örnekler Muller Hinton agara yayma ekim yapıp (McFarland 0,5 (10⁸ cfu/ml)standartı) sefoksitin (30 mg Oxoid) diski konularak 35°C da 18-24 saat inkübasyona bırakılmış ve süre sonunda inhibisyon zon çapları kumpas ile ölçülerek sonuçlar CLSI (Clinical and Laboratory Standards Institute) kriterlerine göre; <21 mm olanlar dirençli, >22 mm olanlar metisiline duyarlı olarak değerlendirilmiştir (Wayne, 2011).

2.1. Malzeme seçimi

2.1.1. Cep Telefonu Koruma Malzemeleri

Çalışma kapsamında kullanılan cep telefonu koruma malzemeleri iki farklı şekilde temin/elde edilmiştir. **Birinci grup** cep telefonu koruma malzemeleri 3D yazıcı ile Termoplastik Poliüretan (TPU) ve Polilaktik Asit (PLA) filament'den 0,5 mm ve 1,0 mm kalınlığında üretilmiştir. Bu telefon koruma malzemelerinden elde edilen örnekler sırasıyla **TPU_{0,5mm}**, **TPU_{1mm}**, **PLA_{0,5mm}**, **PLA_{1mm}** olarak adlandırılmıştır. **İkinci grup** cep telefonu koruma malzemeleri ticari olarak temin edilen 3 farklı malzemedan PC® (Polikarbonat), TPU® ve TPU/silikon® üretilmiş ürünler satın alma yoluyla temin edilmiş ve kullanılmıştır. Bu ticari telefon koruma malzemelerinden elde edilen örnekler sırasıyla **PC®**, **TPU®** ve **TPU/silikon®** olarak adlandırılmıştır.

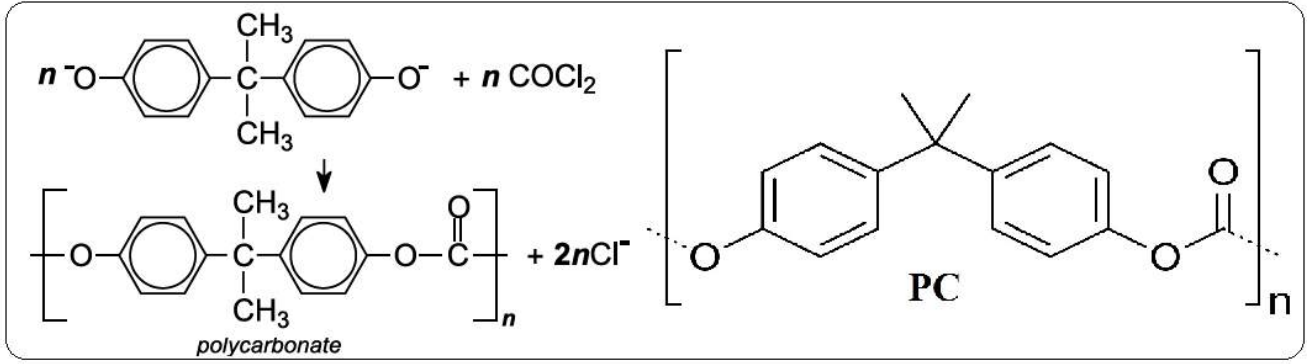
2.1.1. Ekran Koruyucu Malzemeleri

Çalışmada ticari olarak temin edilerek kullanılan 0,5 mm **nanocam (9H)** ve **temperli cam (flexibleglass 6D)** ekran koruyucular değerlendirilmiştir. Bu ekran koruyuculardan elde edilen örnekler sırasıyla **nano®** ve **flexi®** olarak adlandırılmıştır. Toplam 9 farklı örnek 3 bakteri tipi için (deney=27, kontrol=27) hazırlanmıştır. Örnekler 1 cm çapında steril olarak kesilerek deneyler için hazırlanmıştır.

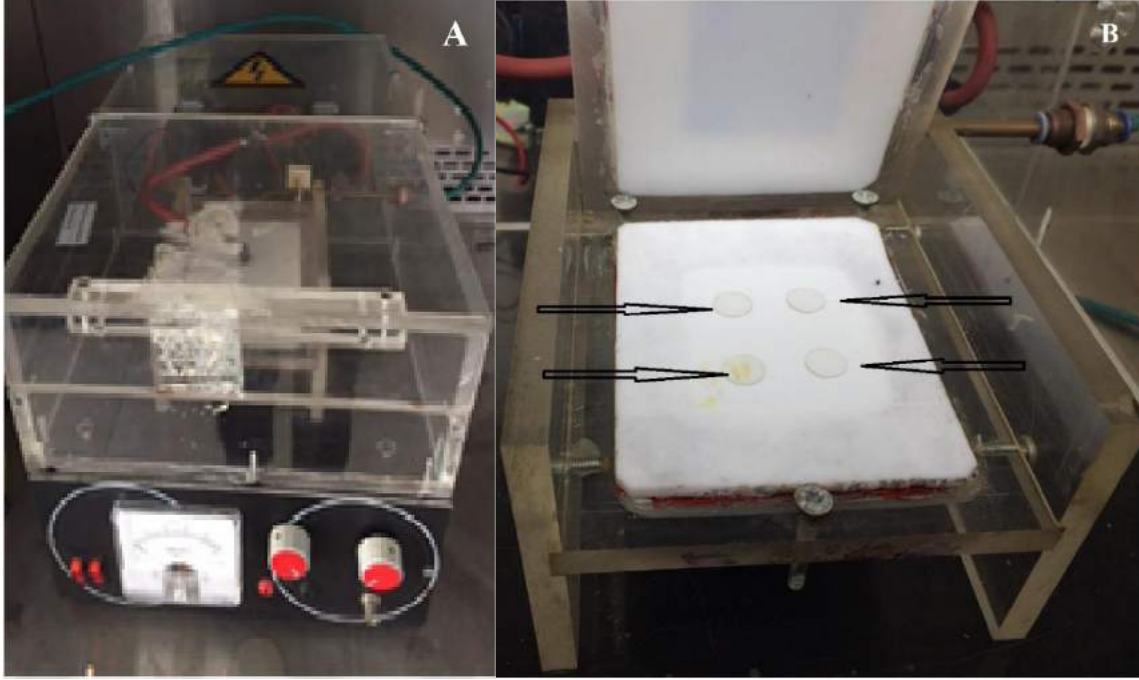
2.2. Atmosferik Plazma Yöntemiyle Yüzey Modifikasyonu

Bu çalışma kapsamında kullanılan yüzey modifikasyonu yöntemi, yüzey özelliklerinin değiştirilmesinde sıklıkla kullanılan elektriksel boşalım (glow discharge) yöntemidir. Bu işlemin amacı yüzey adsorpsiyon kapasitesinin artırılmasıdır. Atmosferik plazma sistemi kullanılarak deney grubundaki 27 örnek 1 dakika süre ile 3 amper elektriksel boşalım yöntemi ile etkileştirilerek yüzey pürüzlendirilmiştir (Şekil 4) (Koçum C. ve Ayhan H. 2007), (Koçum C. ve ark. 2010) Kontrol grubu örneklerine herhangi bir işlem uygulanmamıştır.

Örneklerin ortamda inert kalmasını sağlamak amacıyla argon gazı kullanılmıştır. Atmosferik plazmadan geçirilerek sterilitesi bozulmadan, argon gazı ortamında, örneklerin bir sonraki aşama olan besi yeri ekim aşamasına geçilmiştir.



Şekil 3. Polikarbonat sentezi ve yapısı.



Şekil 4. (A) Soğuk atmosferik plazma cihazı, (B) Atmosferik plazma cihazına yerleştirilmiş örnek görüntüleri.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu çalışmada 9 farklı malzemeden örnekler 1 cm çapında kesilerek deney ve kontrol olmak üzere 2 grupta hazırlanmıştır. Bu işlem 3 bakteri türü için de yapılmıştır. Tüm malzemeler hazırlanmadan önce kumpas ile kalınlıkları ölçülmüştür.

Bu çalışmaya katılan sağlık çalışanlarının %80'i kadın olup, %62.5'i hastanenin dahili birimlerinde çalışmaktadır. Sağlık çalışanlarının %35'i hastalar ile temas halinde iken telefon kullandığını, %87.5'i akıllı telefonunun hastane yüzeyleri ile temas ettiğini, %40.0'ı tuvalette telefon kullandığını belirtmiştir. Ayrıca bu çalışmaya katılan sağlık çalışanlarının %35'i cep telefonunu düzenli olarak temizlediğini, %62.5'i telefonunu hiç temizlemediğini, akıllı telefonunu temizleyenlerin %60'ı temizleme yöntemi olarak ıslak mendil kullandığını ifade etmiştir. Bu çalışmada cep telefonuna dokunmadan önce ellerini yıkayan sağlık çalışanlarının oranı %27.5, hasta ile temastan sonra ellerini yıkayanların oranı %90.0 ve ellerini sıvı sabun ile yıkayanların oranı %60'dır. Bu çalışmada sağlık çalışanlarının günlük cep telefonu kullanma süresi ortalaması 245.25±192.62 dakika, hastane ortamında telefon ile temas süresi ortalaması 130.75±136.3 dakikadır. Hastane ortamı ve sağlık çalışanlarını odağına alan çalışmalar gözden geçirildiğinde; hijyenik e-ISSN: 2148-2683

özelliklerdeki eksiklikler nedeniyle akıllı telefonların bir enfeksiyon taşıma aracı haline geldiği ve koruma malzemelerinin bu konudaki önemine vurgu yapıldığı görülmektedir (Colum ve ark. 2017). Bununla birlikte sağlık personelinin %76.2'sinin kullandığı telefonların bir enfeksiyon kaynağı olduğunun farkında olmalarına rağmen iş (%77.9) ve tuvalet (%43.5) ortamında telefon kullandıklarını ve önemli bir kısmının telefonunu temizlemedikleri (%44.9) belirlenmiştir (Banawas et. al 2018). Bu bilgiler hastane ortamında enfeksiyonu önleyici farklı müdahalelere gereksinim olduğunu düşündürmektedir.

Yapılan çalışma sonucunda; yüzey örnekleme ile alınan 40 örnekten 36'sında (%90) üreme olmuştur (Tablo-2). Üreme olan örneklerde kanlı agarda toplam 7 (%19,4) hemoliz saptanmıştır. Hemoliz saptananların 5'i (%71,4) β-hemoliz, 2'si (%28,6) α-hemoliz olarak belirlenmiştir. β-hemoliz yapan örneklerin 2'si (%40,0) metisilin duyarlı *S.aureus*, 1'i (%20,0) ise metisilin dirençli *S.aureus* ve 2'si (%40,0) *S.pyogenes* olarak tespit edilmiştir. α-hemoliz görülen 2 örnek (%100,0) α-hemolitik *Streptococ (Viridans streptococ)* olarak değerlendirilmiştir. Kanlı agarda üreyen ancak hemoliz oluşturmayan örnekler (non-hemolitik) (%80,6) hemolitik olmayan *Streptococlar* olarak belirlenmiştir. Gram boyama sonucunda pozitif sonuç veren

örnekler katalaz ve koagülaz testlerine tabi tutularak *Streptococcus spp.* ve *Staphylococcus spp.* olarak ayırımları yapılmıştır. Gram boyama testinde negatif sonuç veren örnekler ise *E.coli* ve diğer *Enterobacter* olarak değerlendirilmiştir. Literatürler değerlendirildiğinde mikroorganizmaların çoğalması ile ilgili elde edilen sonuçlar, çalışma sonuçlarımızla benzerlik göstermektedir. Birçok çalışmada sağlık çalışanlarının telefonlarında kendi cilt florasının dışında farklı türlerde patojen mikroorganizmaların bulunduğu tespit edilmiştir (Alpay ve ark. 2015; Kotris ve ark 2016, Zakai ve ark, 2016, Chang ve ark. 2017).

3.1. Atmosferik Plazma Yöntemiyle Yüzey Modifikasyonu

Sağlık çalışanlarının akıllı telefonlarındaki koruma malzemelerine antimikrobiyal özellik kazandırılması amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmada; atmosferik plazma yöntemiyle yüzey modifikasyonu sağlanan koruma malzemelerinin tamamının farklı düzeylerde antimikrobiyal özellik kazandığı bulunmuştur. Deneysel grubundaki 1 cm çapındaki tüm örneklerin inhibisyon zonu oluşturduğu, işlenmemiş (kontrol grubu) örneklerde ise zon oluşumunun sadece disk çapı kadar olduğu gözlenmiştir. Bu çalışmada 3 amper 1 dakika süre ile uygulanan plazma modifikasyonu sonucunda etkin antimikrobiyal aktivite saptanmıştır.

Tablo-2. Sağlık çalışanlarının telefon yüzeylerinden alınan örneklerde üreme durumu. (n=40)

Telefon yüzeylerinden alınan örneklerde üreme	n	%
Var	36	90.0
Yok	4	10.0
Telefon yüzeylerinden izole edilen bakteriler *		
<i>Non hemolitik Streptococcus spp.</i>	29	72.5
<i>Enterobakter</i>	11	27.5
<i>Metisilin duyarlı S.aureus</i>	2	5.0
<i>α-hemolitik Streptococcus spp.</i>	2	5.0
<i>S.pyogenes</i>	2	5.0
<i>Metisilin dirençli S.aureus</i>	1	2.5
<i>E.coli</i>	1	2.5

*Bazı sağlık çalışanlarının telefonunda birden fazla türde bakteri üremiş, yüzdelere n sayısı üzerinden alınmıştır

3.2. Malzeme Karakterizasyonu

3.2.1. Telefon Koruma Malzemeleri

3.2.1.1. TPU® ATR-FT-IR Spektrumları

Termoplastik poliüretandan üretilmiş telefon koruma malzemelerin ATR-FTIR spektrumları incelendiğinde; işlem görmüş yüzeylerde, işlem görmemiş malzeme yüzeylerinde görülmeyen 3 farklı fonksiyonel grubun olduğu gözlemlenmiştir.

3700-3800 cm^{-1} dalga boyunda **monosubstitueamid** R-NH-CO- gerilme piki görülmüştür. 2160 cm^{-1} ve 2022 cm^{-1} dalga boylarında izosiyanat (R-N=C=O) yapısında =C-O gerilme titreşimi gözlenmiştir. Bu gözlenen gerilme titreşimleri TPU® yapısında amid yapısından bir sübstitüentin koptuğunu, izosiyanat yapıdan da bir çift bağın koparak tek bağ oluşumu kimyasal değişimlerini işaret etmektedir (Şekil 5).

3.2.1.2. TPU/Silikon® ATR-FT-IR Spektrumları

Termoplastik poliüretan/silikon karışımından üretilmiş telefon koruma malzemelerin ATR-FTIR spektrumları incelendiğinde; işlem görmüş yüzeylerde, işlem görmemiş malzeme yüzeylerinde görülmeyen 2 farklı fonksiyonel grubun olduğu gözlemlenmiştir. Yine 3700-3800 cm^{-1} dalga boyunda **monosubstitueamid** R-NH-CO- gerilme piki görülmüştür. 1726 cm^{-1} ve 1702 cm^{-1} dalga boylarında -C-O gerilme pik şiddetinin önemli ölçüde arttığı tespit edilmiştir. Görülen bu değişiklikler;

amid yapısından bir sübstitüentin koptuğunu, izosiyanat yapıdan da bir çift bağın koparak tek bağ oluşumu kimyasal değişimleri ifade etmektedir.

3.2.1.3. PC® ATR-FT-IR Spektrumları

Polikarbonat polimerinden üretilmiş telefon koruma malzemelerin ATR-FTIR spektrumları incelendiğinde; işlem görmüş yüzeylerde, işlem görmemiş malzeme yüzeylerinde görülmeyen 2 farklı fonksiyonel grubun olduğu gözlemlenmiştir. 3613-3502 cm^{-1} dalga boylarında -O-H gerilme pikleri görülmüştür.

Bu durum polimerin yapısında var olan -C=O bağlarının protonlanarak -C-O-H bağına dönüştüğünü, yapının hidrofilik özellik kazandığını göstermektedir. Aynı zamanda işlem görmemiş yüzey ATR-FTIR spektrumunda 2921 cm^{-1} dalga boyunda var olan -C-H bağlarının azaldığı gözlemlenmiştir (Şekil 7).

FTIR analizlerinde parmak izi bölgesi olarak tanımlanan 1500 cm^{-1} dalga boyunun altındaki bölgede fazla sayıda pik oluşumu gözlenmektedir. Bu bölgede oluşan pikler ayırt edici özellikte olmadıkları için değerlendirme kapsamına alınmamıştır.

3.2.1.4. TPU_{0,5mm} ATR-FT-IR Spektrumları

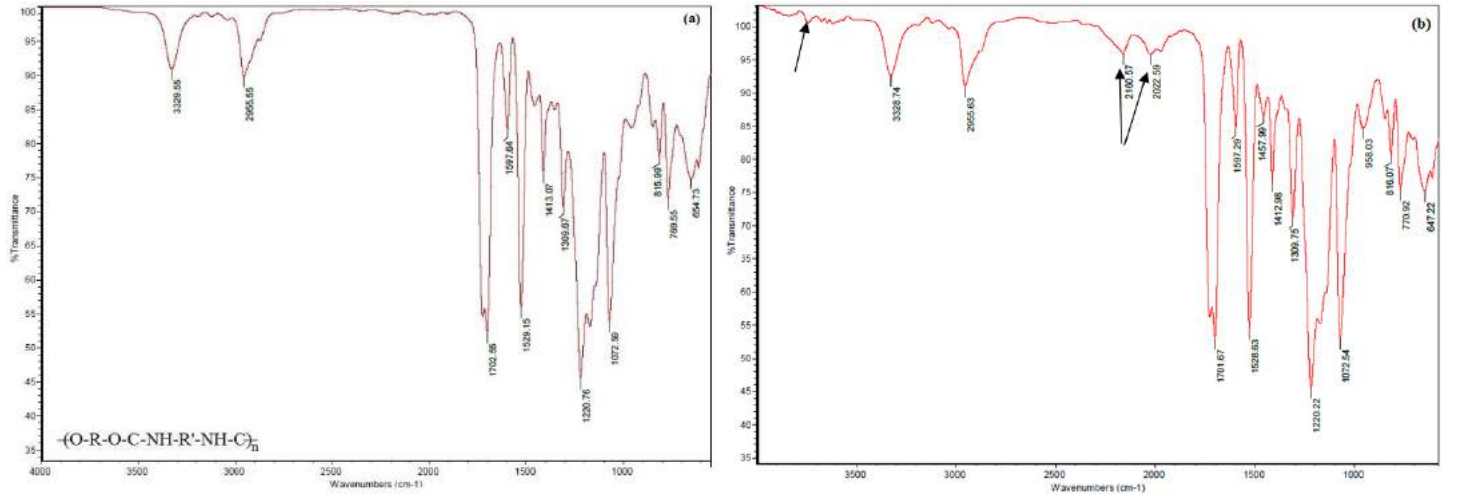
3D yazıcı ile özel olarak üretilen 0,5 mm kalınlığındaki Termoplastikpoliüretan'dan üretilmiş telefon koruma malzemelerin ATR-FTIR spektrumları incelendiğinde; işlem görmüş yüzeylerde, işlem görmemiş malzeme yüzeylerinde

görülmeden 1 farklı fonksiyonel grubun oluştuğu gözlemlenmiştir. 3700-3800 cm^{-1} dalga boyunda **monosubstitueamid** R-NH-CO- gerilme piki görülmüştür. Amid yapısından bir sübstitüentin koptuğunu göstermektedir (Şekil 8).

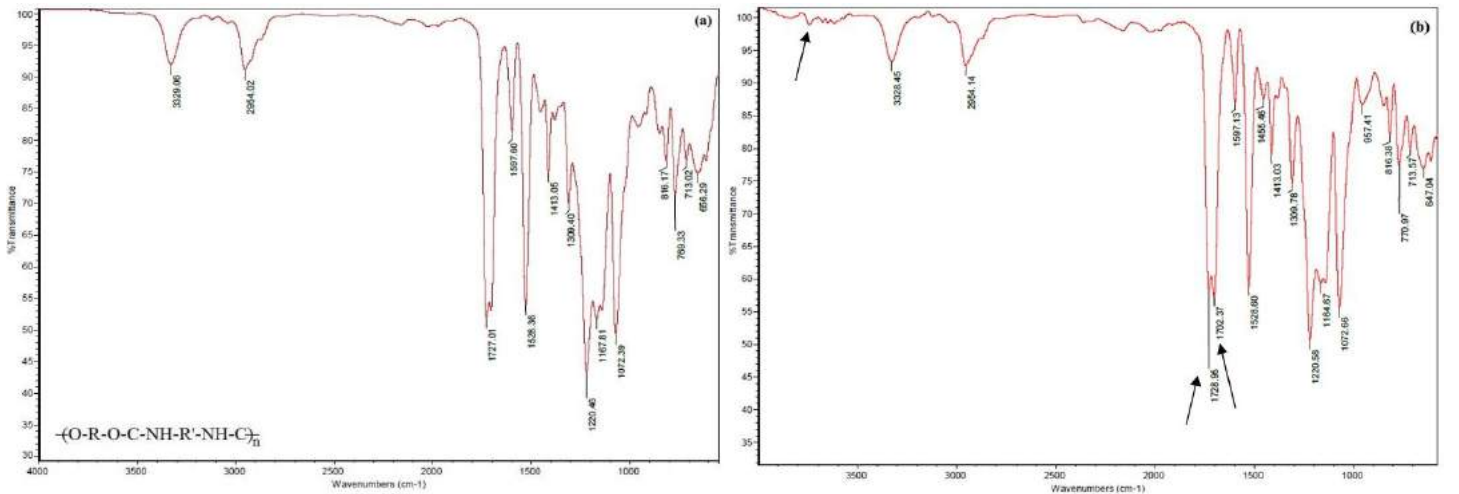
=C-O gerilme titreşimi gözlenmiştir. Bu gözlenen gerilme titreşimleri TPU® yapısında izosiyanat yapıdan da bir çift bağın koparak tek bağ oluşumu kimyasal değişimlerini işaret etmektedir (Şekil 9).

3.2.1.5. TPU_{1mm} ATR-FT-IR Spektrumları

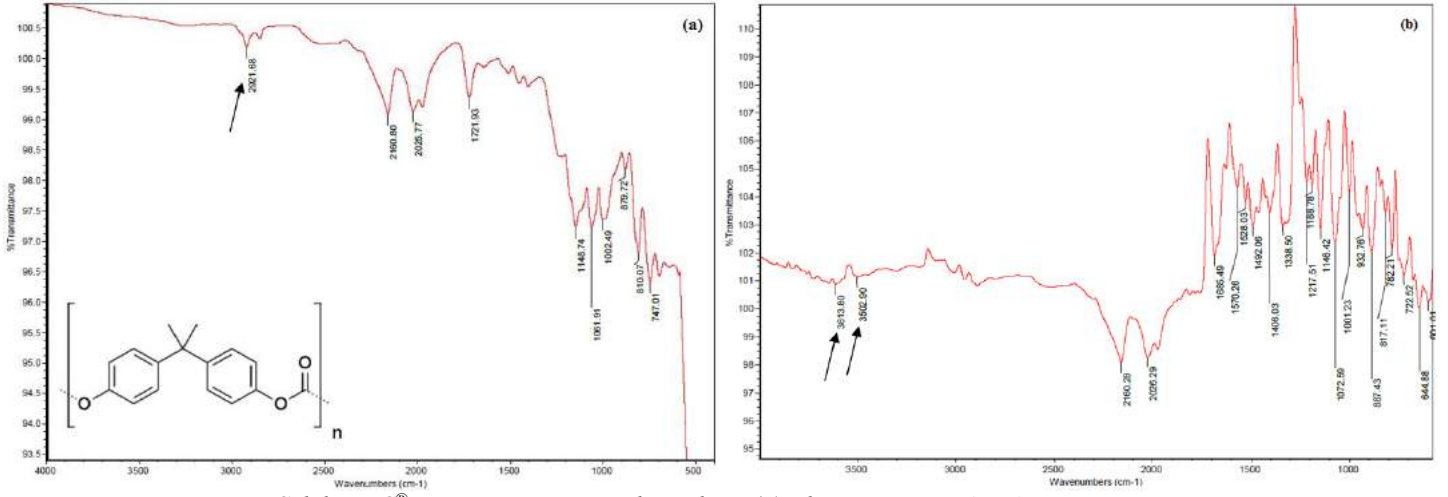
3D yazıcı ile özel olarak üretilen 1 mm kalınlığındaki Termoplastikpoliüretan'dan üretilmiş telefon koruma malzemelerin ATR-FTIR spektrumları incelendiğinde; işlem görmüş yüzeylerde, işlem görmemiş malzeme yüzeylerinde görülen 1 farklı fonksiyonel grubun oluştuğu gözlemlenmiştir. 3700-3800 cm^{-1} dalga boyunda **monosubstitueamid** R-NH-CO- gerilme piki görülmüştür. Amid yapısından bir sübstitüentin koptuğunu göstermektedir. 2160 cm^{-1} ve 2026 cm^{-1} dalga boylarında izosiyanat (R-N=C=O) yapısında



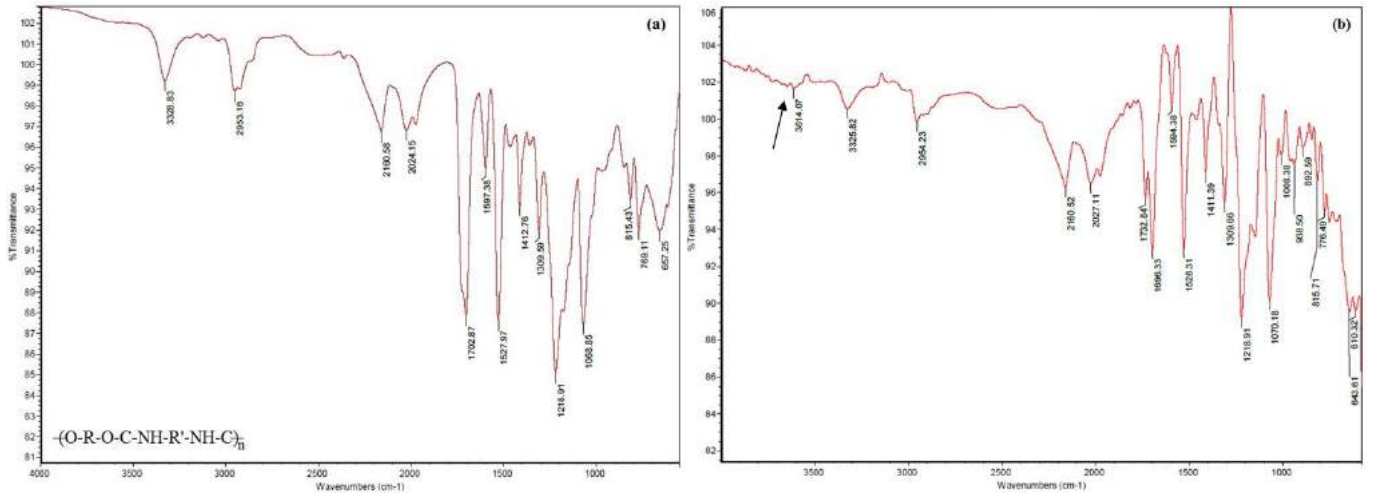
Şekil 5. TPU® yüzey ATR-FTIR spektrumları; (a) Plazma öncesi; (b) Plazma sonrası.



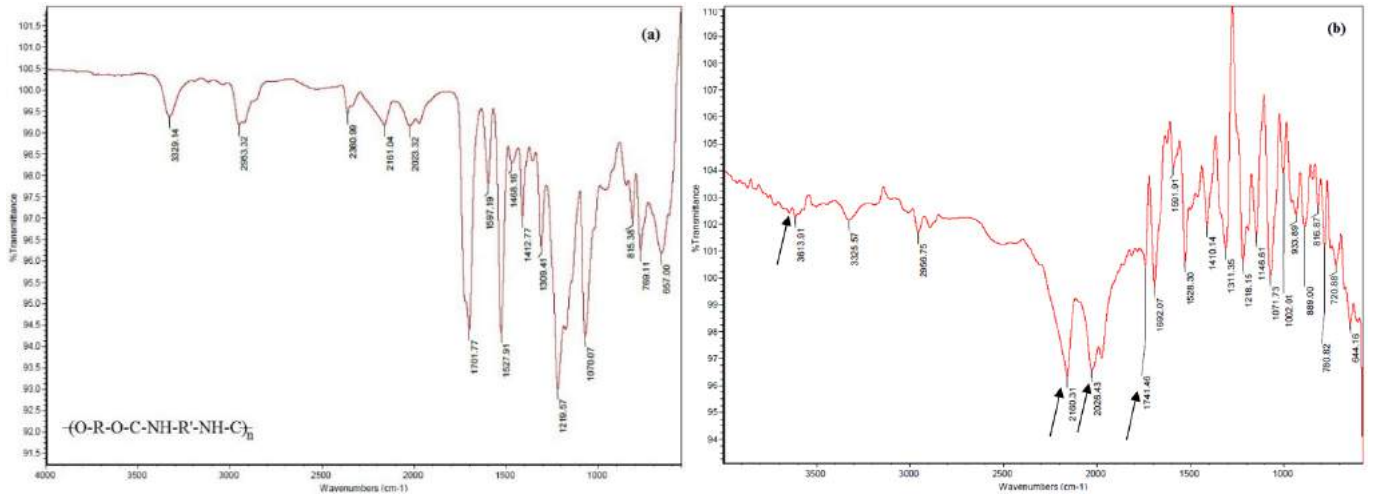
Şekil 6. TPU/Silikon® yüzey ATR-FTIR spektrumları; (a) Plazma öncesi; (b) Plazma sonrası.



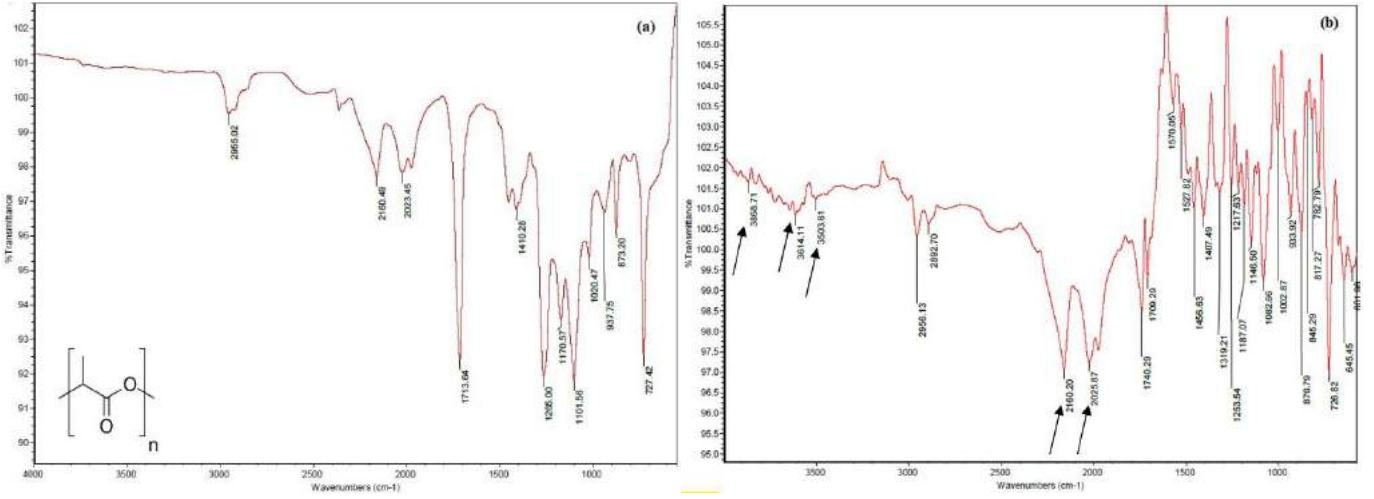
Şekil 7. PC[®] yüzey ATR-FTIR spektrumları; (a) Plazma öncesi; (b) Plazma sonrası.



Şekil 8. TPU_{0,5mm} yüzey ATR-FTIR spektrumları; (a) Plazma öncesi; (b) Plazma sonrası.



Şekil 9. TPU_{1mm} yüzey ATR-FTIR spektrumları; (a) Plazma öncesi; (b) Plazma sonrası.



Şekil 10. PLA_{0,5mm} yüzey ATR-FTIR spektrumları; (a) Plazma öncesi; (b) Plazma sonrası.

3.2.1.6. PLA_{0,5mm} ATR-FT-IR Spektrumları

3D yazıcı ile özel olarak üretilen 0,5 mm kalınlığındaki PLA'dan üretilmiş telefon koruma malzemelerin ATR-FTIR spektrumları incelendiğinde; işlem görmüş yüzeylerde, işlem görmemiş malzeme yüzeylerinde görülmeyen 3 farklı fonksiyonel grubun oluştuğu gözlemlenmiştir. 3868-3614-3503 cm⁻¹ dalga boylarında -O-H gerilme pikleri görülmüştür. Bu durum polimerin yapısında var olan -C=O; -C-O bağlarının protonlanarak -C-O-H bağına dönüştüğünü, yapının hidrofilik özellik kazandığını göstermektedir. Aynı zamanda işlem görmemiş yüzey ATR-FTIR spektrumunda 2955 cm⁻¹ dalga boyunda var olan -C-H bağlarının azaldığı gözlemlenmiştir. 2160 cm⁻¹ ve 2025 cm⁻¹ dalga boylarında gözlenen gerilme titreşimleri -C-O gerilme titreşimi, çift bağın koparak tek bağ oluşumu kimyasal değişimlerini işaret etmektedir (Şekil 10).

3.2.1.7. PLA_{1mm} ATR-FT-IR Spektrumları

3D yazıcı ile özel olarak üretilen 1 mm kalınlığındaki PLA'dan üretilmiş telefon koruma malzemelerin ATR-FTIR spektrumları incelendiğinde; işlem görmüş yüzeylerde, işlem görmemiş malzeme yüzeylerinde görülmeyen 2 farklı fonksiyonel grubun oluştuğu gözlemlenmiştir. 3868-3614-3503 cm⁻¹ dalga boylarında -O-H gerilme pikleri görülmüştür. Bu durum polimerin yapısında var olan -C=O; -C-O bağlarının protonlanarak -C-O-H bağına dönüştüğünü, yapının hidrofilik özellik kazandığını göstermektedir. 2160 cm⁻¹ ve 2025 cm⁻¹ dalga boylarında gözlenen gerilme titreşimleri -C-O gerilme titreşimi, çift bağın koparak tek bağ oluşumu kimyasal değişimlerini işaret etmektedir (Şekil 11).

3.2.2. Ekran Koruyucu Malzemeleri

3.2.2.1. Flexi® ATR-FT-IR Spektrumları

Çalışma kapsamında kullanılan flexi®, ekran koruyucu malzemesinin karakterizasyonu çerçevesinde ATR-FTIR spektrumları incelendiğinde; işlem görmüş yüzeylerde, işlem görmemiş malzeme yüzeylerinde görülmeyen 2 farklı fonksiyonel grubun oluştuğu gözlemlenmiştir. 3800-3500 cm⁻¹ dalga boylarında geniş -O-H gerilme pikleri görülmüştür. Bu durum polimerin yapısında var olan -C=O; -C-O bağlarının protonlanarak -C-O-H bağına dönüştüğünü, su pikinin

oluşumunu, böylece yapının hidrofilik özellik kazandığını göstermektedir. Aynı zamanda işlem görmemiş yüzey ATR-FTIR spektrumunda 2900 cm⁻¹ dalga boyunda var olan -C-H bağlarının arttığı ve genişlediği gözlemlenmiştir. 1700 cm⁻¹ dalga boyunda -C-O gerilme pik şiddetinin önemli ölçüde arttığı tespit edilmiştir. Görülen bu değişiklikler cam yüzey yapısında kimyasal değişimleri ifade etmektedir.

3.2.2.2. Nano® ATR-FT-IR Spektrumları

Çalışma kapsamında kullanılan Nano®, ekran koruyucu malzemesinin karakterizasyonu çerçevesinde ATR-FTIR spektrumları incelendiğinde; işlem görmüş yüzeylerde, işlem görmemiş malzeme yüzeylerinde görülmeyen 3 farklı fonksiyonel grubun oluştuğu gözlemlenmiştir. 3800-3500 cm⁻¹ dalga boylarında geniş -O-H gerilme pikleri görülmüştür. Bu durum polimerin yapısında var olan -C=O; -C-O bağlarının protonlanarak -C-O-H bağına dönüştüğünü, su pikinin oluşumunu, böylece yapının hidrofilik özellik kazandığını göstermektedir. Aynı zamanda işlem görmemiş yüzey ATR-FTIR spektrumunda 2900 cm⁻¹ dalga boyunda var olan -C-H bağlarının arttığı ve genişlediği gözlemlenmiştir. 1700 cm⁻¹ dalga boyunda -C-O gerilme pik şiddetinin önemli ölçüde arttığı tespit edilmiştir. Görülen bu değişiklikler cam yüzey yapısında kimyasal değişimleri ifade etmektedir.

3.3. Telefon Koruma Malzemelerinin Antimikrobiyal Özellikleri

Çalışma kapsamında kullanılan TPU_{0,5mm}, TPU_{1mm}, PLA_{0,5mm}, PLA_{1mm}, PC®, TPU®, TPU/silikon®, 7 farklı telefon koruma malzemelerinin ve nano® ve flexi®, 2 farklı ekran koruyucu malzemelerinin antimikrobiyal özelliklerinin belirlenmesi çerçevesinde, değerlendirilen *S. aureus*, *E. coli* ve *S. pyogenes* için çalışma gerçekleştirilmiştir.

3.3.1. Telefon Korumalarının Antimikrobiyal Özellikleri

TPU® materyali için *S. aureus*, *E. coli* ve *S. pyogenes* ile yapılan antimikrobiyal aktivite testlerinin görsel sonuçları verilmiştir (Şekil 14) Çalışma kapsamında değerlendirilen 3 mikroorganizma tipi içinde TPU® örneklerin önemli düzeyde antimikrobiyal özellik gösterdiği bulunmuştur.

TPU/silikon® plazma modifiye örneklerde *S.aureus*'da 11 mm, *E.coli*'de 11 mm ve *S.pyogenes*'de 13 mm inhibisyon zonu oluşumu gözlenmiştir (Şekil 15) TPU/silikon® tüm mikroorganizma türlerine karşı antimikrobiyal etki göstermiştir. Ayrıca *S. pyogenes*'de plazma modifiye TPU/silikon® en güçlü antimikrobiyal etkiyi göstermiştir.

Ticari olarak temin edilen PC®, plazma modifiye örnekte *S. pyogenes*'de 6 mm'lik inhibisyon zonu görülürken, *S. aureus* ve *E. coli*'de zonu oluşumu gözlenmemiştir (Şekil 16) Plazma modifiye PC® nin en güçlü antimikrobiyal etki gösterdiği bakteri türü *S. pyogenes* olarak bulunmuştur. TPU_{0,5mm} telefon koruma örneğinde 3 bakteri türü için; besi yerinde üreme olmadığı gözlenmiştir. Bu durum kontrol grubu örneklerle karşılaştırıldığında deney grubunda zonu oluşumunun başladığı tespit edilmiştir (Şekil 17).

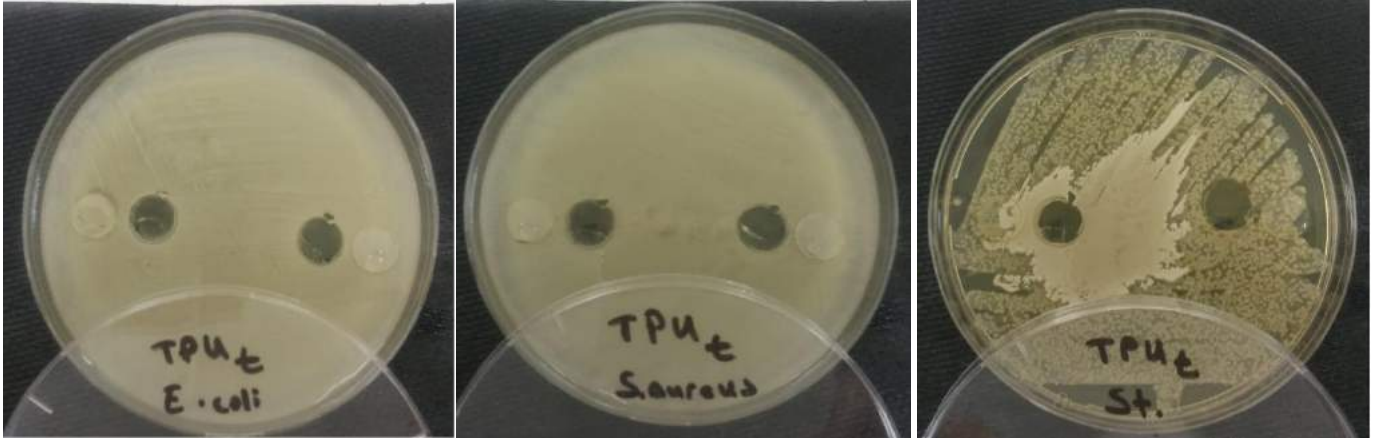
TPU_{1mm} telefon koruma örneğinde üç bakteri türünde de kontrol grubunda zonu oluşumu varken plazma modifiye örneğinde zonu oluşmamıştır (Şekil 18).

PLA_{0,5mm} plazma modifiye örneklerde 3 bakteri türünde de kontrol grubu örneklerde zonu oluşumu başlamış plazma modifiye örneğinde ise üreme olmadığı gözlenmiştir (Şekil 19).

PLA_{1mm} plazma modifiye deney örneklerinin 3 bakteri türünü içeren besi yerinde üreme olmadığı gözlenmiştir (Şekil 20).

3.3.2. Ekran Koruyucuların Antimikrobiyal Özellikleri

Plazma modifiye Nano® ve Flexi® ekran koruyucuların her ikisinde de 10 mm çapında inhibisyon zonu oluşmuştur. (Şekil 21 ve Şekil 22).



Şekil 14. TPU® telefon korumanın antimikrobiyal özellikleri.



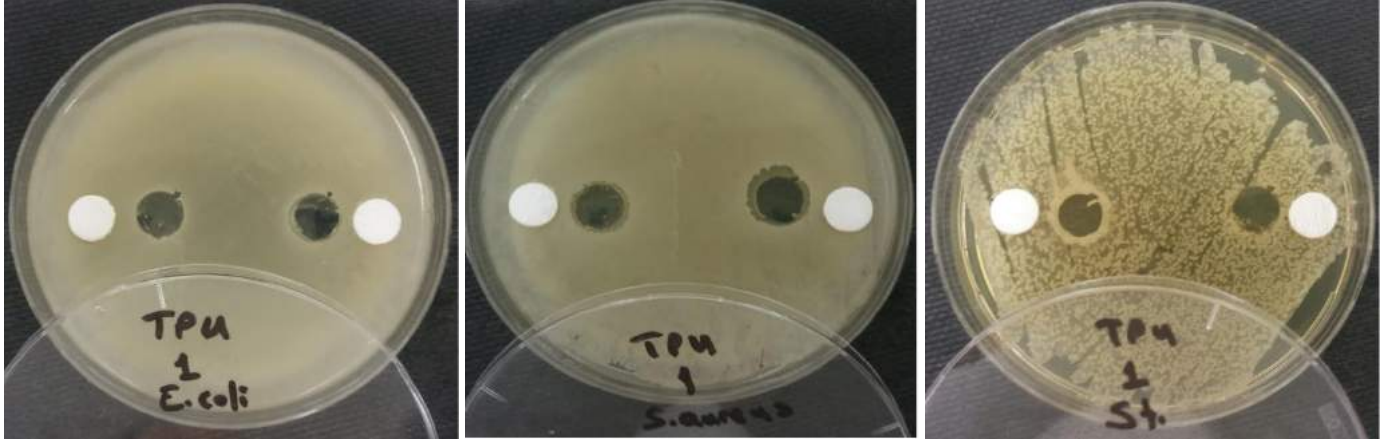
Şekil 15. TPU/silikon® telefon korumanın antimikrobiyal özellikleri.



Şekil 16. PC® telefon korumanın antimikrobiyal özellikleri.



Şekil 17. TPU_{0.5mm} telefon korumanın antimikrobiyal özellikleri.



Şekil 18. TPU_{1mm} telefon korumanın antimikrobiyal özellikleri.



Şekil 19. PLA_{0,5mm} telefon korumanın antimikrobiyal özellikleri.



Şekil 20. PLA_{1mm} telefon korumanın antimikrobiyal özellikleri.



Şekil 21. Nano® ekran koruyucunun antimikrobiyal özellikleri.



Şekil 22. Flexi® ekran koruyucunun antimikrobiyal özellikleri.

4. Sonuç

Bu çalışmada sağlık çalışanlarının tamamına yakınının akıllı telefonlarının yüzeylerinde bakteriyel üreme olduğu belirlenmiştir. Üremelerin bir kısmının ise nozokomiyal patojenlerle ilişkili olduğu saptanmıştır. Sağlık çalışanlarının telefonlarından elde edilen nozokomiyal patojenlerle plazma teknolojisi ile sağlanan telefon korumaları ve ekran koruyucuların etkileşimi değerlendirildiğinde; ticari olarak temini sağlanan TPU/silikon® içeriğe sahip telefon korumanın *S.aureus* ve *E.coli* üzerinde inhibisyon zonu oluşturarak antimikrobiyal etkinlik sağladığı tespit edilmiştir. Ancak en başarılı antimikrobiyal etkinin 13 mm zon oluşturarak *S.pyogenes* üzerinde olduğu bulunmuştur. Yine ticari olarak temini sağlanan PC®, plazma teknolojisi sonrasında *S.pyogenes* deney örneği üzerinde neredeyse kendi çapı kadar zon oluşturmuştur. Son ticari ürün olan TPU® da, plazma teknolojisi sonrasında tüm mikroorganizmalar üzerinde antimikrobiyal etkinlik saptanmıştır. 3D yazıcı ile TPU ve PLA filamentten elde edilen telefon koruma örneklerinden elde edilen örneklerin antimikrobiyal etkisi ticari olarak eldesi sağlanan ürünlerden daha azdır. Bu sonucun nedeninin 3D yazıcıdan çıkan telefon korumalarının yüzeylerinin pürüzlü olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü plazma teknolojisi bu yüzeyde yetersiz kalmış olabilir. *Nano®ve flexi®* ekran koruyucularda deney ve kontrol grupları karşılaştırıldığında; deney örneklerinin antimikrobiyal etki gösterdiği belirlenmiştir. Kontrol grubu örneklerinde ise disk çapı kadar üreme olduğu belirlenmiştir. Isıl olmayan teknolojiler arasında en yeni teknolojilerden biri olarak yer alan soğuk plazma teknolojisi, günümüzde ticari olarak malzeme yüzeylerinin işlenmesi, tıbbi araçların sterilizasyonu, yara bakımı, gıda güvenliği, mikroelektronik teknolojisi, kontamine olan yüzeylerin dekontaminasyonu gibi çok farklı alanlarda etkili bir şekilde kullanılmaktadır (Driks, ve ark., 2012; Patil, ve ark., 2014; Chu, 2007). Bu çalışmada da konuyla ilgili yapılan çalışmalara benzer şekilde plazma teknolojisinin antimikrobiyal telefon koruma malzemeleri tasarımında etkin olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre;

- Piyasada üretimi bulunan TPU®, TPU/silikon® ve PC® ve/veya bunlara benzer tüm telefon koruma malzemelerine, üretim prosesi aşamasında ekstrüzyon çıkışına (yani soğuma aşamasına giriş sırasında) entegre edilecek soğuk plazma teknolojisi ile antimikrobiyal özellik

e-ISSN: 2148-2683

kazandırılarak telefon korumaları ve ekran koruyucular üretilebilir.

- Antimikrobiyal özellik kazanmış bu telefon korumaları özellikle sağlık personeli gibi enfeksiyon riski taşıyan personelin kullanımına sunulabilir. Her geçen gün direnç geliştiren ve ölümlere dahi neden olan nozokomiyal enfeksiyon patojenlerinin yayılımının azaltılmasına bu şekilde katkı sağlanabilir. Hastane ortamında bu şekilde kullanılan koruma malzemeleri küresel enfeksiyonları önlemek için mücadelede çözüm yollarından biri olabilir.

- Gelecekte üretilecek antimikrobiyal özellikli telefon korumaları sağlık personelinin kullanımına sunulacak, kullanım öncesi ve sonrası telefonlardaki bakteriyel kontaminasyon durumunu karşılaştıran çalışmalar yapılabilir. Ayrıca bu uygulamanın nozokomiyal enfeksiyon oranlarının azaltılmasında önemli boyutta etkisi olacağı düşünülmektedir.

Kaynakça

- Alpay Y., İrvem A., Yücel M., Yavuz T. (2015). Sağlık çalışanlarının cep telefonlarında mikroorganizma kolonizasyonunun değerlendirilmesi. *Balikesir Sağlık Bil Derg*, 4(3): 148-151. doi:10.5505/bsbd.2015.87587
- Banawas, S., Abdel-Hadi A., Alaidarous, M et al. (2018). Multidrug-resistant bacteria associated with cell phones of healthcare professionals in selected hospitals in Saudi Arabia. *Canadian Journal of Infectious Diseases and Medical Microbiology*, 6598918,1-6. doi: [10.1155/2018/6598918](https://doi.org/10.1155/2018/6598918)
- Cercenado, E.(2000). Glycopeptide-intermediate *Staphylococcus aureus*: rediscovery of an old problem? *Clinical Microbiology and Infection*, 6(10):517-518.
- Chang C-H., Chen S-Y., Lu J-J., Chang C-J., Chang Y., Hsieh P-H. (2017). Nasal colonization and bacterial contamination of mobile phones carried by medical staff in the operating room. *PLoS ONE* 12(5), e0175811. doi:10.1371/journal.pone.0175811.
- Chu, PK. (2007). Enhancement of surface properties of biomaterials using plasma-based technologies. *Surface and Coatings Technology*, 201, 8076-8082.
- Colum P. Dunne, Minna M. Keinänen-Toivola, Anne Kahru, Birgit Teunissen, Hulya Olmez, et al. (2017). Antimicrobial coating innovations to prevent infectious

- diseases (AMiCI): Costaction ca15114, *Bioengineered*, 8(6): 679–685. doi: 10.1080/21655979.2017.1323593
- Driks, BP., Dobrynin, D., Fridman, G., Mukhin, Y., Fridman, A., Quinlan JJ. (2012). Treatment of raw poultry with nonthermal dielectric barrier discharge plasma to reduce campylobacter jejuni and salmonella enterica. *J. of Food Protection*, 75, 22-28.
- Fridman, G., Brooks, AD., Balasubramanian, M., Fridman, A., Gutsol, A., Vasilets, VN., Ayan, H., Friedman, G. (2007). Comparison of direct and indirect effects of non-thermal atmospheric-pressure plasma on bacteria. *Plasma Processes and Polymers* 4: 370-375.
- Gürler, N. (2005). Hastane İnfeksiyonlarına Yol Açan Sorunlu Mikroorganizmalar Nelerdir? Sorun Oluşturma Nedenleri Nelerdir? <https://www.das.org.tr/kitaplar/kitap2005/63-05.pdf>
- Koçum, C., Erdamar, A. Ayhan, H., (2010) Design Of Temperature Controlled Quartz Crystal Microbalance System Instrumentation Science & Technology, **38:39-51**.
- Koçum C., Ayhan H., (2007) Design and construction of uniform glow discharge plasma system operating under atmospheric condition, *Review of Scientific Instruments*, 78, 063501,
- Kotris, I., Drenjančević, D., Talapko, J., Bukovski S. (2017). Identification of microorganisms on mobile phones of intensive care unit health care workers and medical students in the tertiary hospital. *Med Glas (Zenica)*, 14(1):85-90. doi: 10.17392/878-16.
- Nargiz-Koşucu S., S. Baltacı-Göktaş, T. Yıldız. (2015). Sağlık personelinin el hijyeni uyum oranı. *Marmara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(2), 105-108.
- Patil, ST., Moiseev, NN., Misra, PJ., Cullen, JP., Mosnier, KM., Keener, P., Bourke, M. (2014). Influence of high voltage atmospheric cold plasma process parameters and role of relative humidity on inactivation of bacillus atrophaeus spores inside a sealed package. *Journal of Hospital Infection*, 88, 162-169.
- Rod, SK., Hansen, F., Leipold, F., Knochel, S. (2012). Cold Atmospheric pressure plasma treatment of ready-to-eat meat: inactivation of listeria innocua and changes in product quality. *Food Microbiology*, 30: 233-238.
- T.C. Sayıştay Başkanlığı, Hastane Enfeksiyonları İle Mücadele Performans Denetimi Raporu, ARALIK-2007. İnternet erişim: <http://www.hider.org.tr/Yeniden/2007-2hastaneenfeksiyon.Pdf>
- Ulger, F., Dilek, A., Esen, S., Sunbul, M., Leblebicioglu, H. (2015). Are healthcare workers' mobile phones a potential source of nosocomial infections, *Review of the literature. J Infect Dev Ctries*, 9(10):1046-1053. doi:10.3855/jidc.6104
- Ulger, F., Esen, S., Dilek A., Yanik K., Gunaydin M., Leblebicioglu H. (2009) Are we aware how contaminated our mobile phones with nosocomial pathogens? *Annals of Clinical Microbiology and Antimicrobials*, 8:7 doi:10.1186/1476-0711-8-7
- Wayne PA. (2011). Clinical and Laboratory Standards Institute. Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing, 21th Informational Supplement, CLSI/ NCCLS Document M100-S21: CLSI.
- Yangılar, F., Oğuzhan, P. (2013). Plazma Teknolojilerinin Gıda Endüstrisinde Kullanımı. *Gıda*, 38(3): 183-189.
- Yasuda, H. (1984). Plasmopolymerization for protective coatings and composite membranes. *Journal of Membrane Science*, 18: 273-284.
- Zakai, S., Mashat, A., Abumohssin, A., Samarkandi A., Almaghrabi B., Barradah H., Jiman-Fatani A. (2016). Bacterial contamination of cellphones of medical students at King Abdulaziz University, Jeddah, Saudi Arabia. *J Microsc Ultrastruct*, 4 (3), 143-146. doi: 10.1016/j.jmau.12.004.



Bazı Pamuk Çeşitlerinde iPBS Analiziyle Genetik Varyasyonun Ortaya Çıkarılması

Ahmet Metin Kumlay¹, Barış Eren², Serap Demirel³, Fatih Demirel^{4*}, Bünyamin Yıldırım⁵

¹ Iğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Iğdır, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9765-8674), akumlay@hotmail.com

² Iğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, Iğdır, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3852-6476), bariseren86@gmail.com

³ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Van, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3102-4924), serap_comart@hotmail.com

^{4*} Iğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Iğdır, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6846-8422), drfdemirel@gmail.com

⁵ Iğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Iğdır, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2463-6989), byildirim71@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 12 Ekim 2020 ve Kabul Tarihi 10 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.809479)

ATIF/REFERENCE: Kumlay, A. M., Eren, B., Demirel, S., Demirel, F. & Yıldırım, B. (2021). Bazı Pamuk Çeşitlerinde iPBS Analiziyle Genetik Varyasyonun Ortaya Çıkarılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 67-73.

Öz

Bu çalışmada, 10 adet pamuk (*Gossypium hirsutum* L.) çeşidinin moleküler karakterizasyonu yapılmıştır. DNA temelli 6 adet iPBS markörleri kullanılmış olup, toplamda 36 adet polimorfik bant görülmüş ve ortalama polimorfizm oranı %77.65 olarak saptanmıştır. Markörlerin ortalama polimorfizm değeri (PIC) de 0.27, ortalama gen çeşitliliği (H) değerleri 0.34, ortalama Dice benzerlik katsayı değeri 0.37, korelasyon katsayı değeri (r) de 0.9026 olarak hesaplanmıştır. Genotipler arasındaki genetik ilişki, NTSYS-pc yazılımı kullanılarak belirlenmiş ve 0.0456 ile 0.8387 arasında değiştiği saptanmıştır. İlk üç eigen değerleri toplamı, toplam varyasyonun %71.93'ünü açıklamıştır. Genotiplerin moleküler varyasyon gösterdiği belirlenmiş olup, genetik çeşitlilik sonuçlarının gelecekteki pamuk ıslah çalışmalarının planlanmasında kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Gossypium hirsutum* L., Polimorfizm, Islah, iPBS.

Reveal of Genetic Variation by iPBS Analysis in Some Cotton Varieties

Abstract

In current study, molecular characterization of 10 cotton (*Gossypium hirsutum* L.) varieties is performed. There are 6 DNA-based iPBS markers, a total of 36 polymorphic bands were detected and the mean of polymorphism rate was 77.65%. The mean gene diversity (H) of the markers was 0.34 and the mean polymorphism value (PIC) was 0.27. The Dice similarity coefficient value and correlation coefficient was calculated as 0.337 and 0.9026, respectively. Genetic diversity among cotton genotypes using NTSYS-pc software changed 0.0456 and 0.8387. Sum of the first three Eigen value explained 71.93% of the total variation. The cotton genotypes used in this study showed highly molecular variation. It was concluded that results of genetic diversity could be used in the selection planning in future cotton breeding studies.

Keywords: *Gossypium hirsutum* L., polymorphism, breeding, iPBS.

* Sorumlu Yazar: drfdemirel@gmail.com

1. Giriş

Pamuk (*Gossypium* sp.) dünya çapında önde gelen doğal lif ve biyoenerji (petrol, yağ) kaynağı olarak kabul edilmektedir. 2018 yılı için küresel bazda, 71 milyon ton pamuk üretimi ile 32.4 milyon hektarlık alanda seksenden fazla ülke tarafından yetiştirilmiştir (FAOSTAT, 2018). Pamuk bitkisi, geniş kullanım alanı, istihdam olanakları ve oluşturduğu katma değer ile üretici ülkeler bakımından ekonomik değere sahip bir üründür.

Gossypium sp. 45 diploid ($2n = 26$) ve 5 allotetraploid ($2n = 52$) olmak üzere, yaklaşık 50 türden oluşmaktadır. Bu türler genom yapılarına göre (A-G ve K) gruplandırılmaktadır (Fryxel, 1992). Allotetraploid türler A-genoma sahip *Gossypium herbaceum* L. veya *G. arboreum* L. ($2n = 2x = 26$) ve D genoma sahip olan *G. raimondii* veya *G. gossypoides* L. ($2n = 2x = 26$) türlerinin melezlenmesi yoluyla oluşmuştur (Beasley, 1942; Wendel ve ark., 1992). Melezleme ile oluşan bu türler, *G. barbadense* L., *G. darwinii* Watt, *G. hirsutum* L., *G. tomentosum* ve *G. mustelinum* türlerini içerir (Percival ve ark., 1999; Wendel ve Crohn, 2003).

Sağladığı istihdam imkanlarından dolayı, pamuktan daha fazla yarar sağlanabilmesi için üstün ekonomik özelliklere sahip yeni çeşitlerin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle pamuk yetiştiriciliğinin yapıldığı bölgelerde ıslah çalışmaları önem arz etmektedir. Bu amaçla, yüksek lif kalitesi ve bileşenlere sahip birçok stres ve hastalığa dayanıklı verimli pamuk çeşitlerinin geliştirilmesinde mevcut gen kaynaklarından yararlanmak kaçınılmazdır (Yu ve ark. 2012). Bitki genetik kaynakları; yerel çeşit ve popülasyonlar, kullanılmayan eski çeşitler, yabani akrabaları ve genetik özellikleri net olarak belirlenmemiş hatlardan oluşmaktadır (Tan, 1998). Özellikle yabani türlerin korunması, bitki ıslah çalışmaları için son derece önemlidir. Çünkü kalıtım materyallerinde bulunan genetik farklılık bitki ıslahında çok önemli bir yere sahiptir.

Bu kapsamda 10 çeşit pamuk genotipinin genetik çeşitliliği iPBS moleküler markör yöntemi ile incelenmiştir. Bu çalışma ile elde edilen veriler ile planlanacak ıslah programlarına ve literatüre katkı sağlaması hedeflenmektedir.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada on adet pamuk çeşiti (PG2018, CARISMA, BA151, BA440, FLASH, LYDIA, BA525, BA119, EDESSA ve BERKE) kullanılmıştır. Çeşitler moleküler karakterizasyon çalışmaları için Erciyes Üniversitesi Genom ve Kök Hücre Merkezi Tarımsal Biyoteknoloji Birimine ait moleküler genetik laboratuvarında viyollerde çimlendirilip DNA izolasyonu yapılmıştır. DNA ekstasyonu için Doyle ve Doyle (1990)'e göre

yapılan CTAB protokolü modifiye edilerek uygulanmıştır. İzole edilen DNA'ların miktarları 230/280 nm dalga boyunda BioSpec-nano Shimadzu Biotech spektrofotometrik cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Miktarı ölçülen DNA'lar PCR analizi için 5 ng/µl olacak şekilde hazırlanmıştır. IPBS-retrotranspozons Polimeraz Zincir Reaksiyonu (PCR) bileşenleri 9 µl dH₂O, 2 µl primer, 2 µl 10X PZR buffer, 2 µl MgCl₂, 0.5 µl dNTP, 0.5 µl Taq DNA polimerase ve 4 µl DNA olmak üzere toplam hacim 20 µl olacak şekilde hazırlanmıştır. PCR işleminde reaksiyon için 95 °C'de 1 dakika 1 döngü, 95 °C'de 45 saniye markör bağlanma sıcaklığında 45 saniye 72 °C'de 1 dakika 42 döngüyle yapıldıktan sonra 72 °C'de 5 dakika 1 döngü basamakları ile sonlandırılmıştır. PCR işlemi sonrasında çoğaltılan DNA'lar TBE tampon içerisinde %2'lik agaroz jel üzerinde elektroforez kullanılarak 120 V'da 3 saat yürütülmüştür. Elektroforez işleminde kuyulara PCR ürünü, 2 µl yükleme boyası ve 100-3000 bç'lik 100 bp DNA Ladder H3 RTU (GeneDirex) eklenmiştir. Elektroforez işlemi sonunda jeller UV ışını altında fotoğrafları çekilip kayıt edilmiştir.

DNA'lar iPBS markörleri kullanılarak çoğaltılmıştır (Kalender ve ark., 2010). Görüntüler incelenerek bant profilleri (bant varlığında "1", bant yokluğunda "0") kodlanmıştır. Kullanılan markörlere ait H (gen çeşitliliği) değerleri ve PIC (polimorfizm bilgi içeriği) değeri PowerMarker V3.25 programı kullanılarak hesaplanmıştır (Liu ve Muse, 2005). Genotipler arasındaki benzerlik katsayıları hesaplanarak (Dice, 1945) UPGMA (Aritmetik Ortalamayı Kullanan Ağırlıksız Çift Grup Metodu) metodu ve Neighbor Joining (NJ) metodu ile dendogramlar NTSYS-pc V2.11 programı kullanılarak oluşturulmuştur. Ayrıca, Eigen vektörü hesaplanarak iki boyutlu (2D) ve üç boyutlu (3D) grafikler elde edilmiştir (Rohlf, 2000).

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Yaptığımız çalışmaya göre, en az polimorfik bant sayısı IPBS-2087 ve IPBS -2390 markörlerine ait olup, en fazla bant sayısı IPBS-2222 isimli markördür. Toplam bant sayısı 46 ve polimorfik bant sayısı 36 olarak tespit edilmiştir. Markör başına ortalama polimorfik bant sayısı 7.66 olarak hesaplanmıştır (Tablo 1). Noormohammadi ve ark. (2013), İran'da pamuk çeşitlerinde ve ıslah hatlarında genetik çeşitliliği ortaya koymak için 17 RAPD, 18 ISSR ve 4 SSR markörünü kullanmışlardır. Çalışmada test edilen RAPD markörlerinden ortalama polimorfizm oranını %25.8 olarak, ISSR markörlerinden ortalama polimorfizm oranını %50.4 olarak, SSR markörlerinden ortalama polimorfizm oranını %57 olarak hesaplamışlardır. Bizim çalışmamızın ortalama polimorfizm oranı %77.65 olup, polimorfizm oranı Noormohammadi ve ark. (2013)'nin çalışmalarından yüksektir.

Tablo 1. iPBS markörlerinin karakterizasyon bilgileri

Markör İsmi	Markör Sekansları 5'--3'	Sıcaklık (°C)	Bant Bilgileri		Çeşitlilik Değerleri		
			Toplam Bant	Polimorfik Bant	P%	H	PIC
IPBS -2087	GCAATGGAACCA	57	6	4	66.66	0.32	0.26
IPBS -2298	AGAAGAGCTCTGATACCA	60	8	6	75	0.48	0.36
IPBS -2390	GCAACAACCCCA	57.5	5	4	80	0.35	0.28
IPBS -2222	ACTTGGATGCCGATACCA	55	11	10	90.9	0.27	0.23
IPBS -2278	GCTCATGATACCA	47	10	7	70	0.38	0.30
IPBS -2388	TTGGAAGACCCA	50	6	5	83.33	0.26	0.22
Toplam			46	36			
Ortalama			7.66	6	77.65	0.34	0.27

P%: Yüzdeler polimorfizm, H: Gen çeşitliliği, PIC: Polimorfizm bilgi içeriği

Çalışmamızda en düşük H değeri 0.26 olup en yüksek H değeri 0.48 olarak belirlenmiştir. Ortalama H değeri 0.34 olarak hesaplanmıştır. En düşük PIC değeri 0.22 olup en yüksek 0.36 olarak saptanmıştır. Ortalama PIC değeri 0.27 olarak belirlenmiştir (Tablo 1). Noormohammadi ve ark. (2013), tarafından RAPD moleküler markörlerini kullanarak ortalama PIC değerini 0.19 ve ortalama H değerini 0.114 olarak bulmuşlardır. ISSR moleküler markörlerini kullanarak ortalama PIC değerini 0.321 ve ortalama H değerini 0.223 olarak bildirmişlerdir. SSR moleküler markörlerini kullanarak ortalama PIC değerini 0.353 ve ortalama H değerini 0.154 olarak

hesaplamışlardır. Ashraf ve ark. (2016) 30 pamuk genotipinde ISSR markörü kullanarak elde ettikleri PIC değerini 0.064 ile 0.492 arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Mevcut çalışmalar ile tutarlı sonuçların sergilendiği görülmektedir.

Bu çalışmamızın sonucunda DICE benzerlik katsayı değeri ortalama 0.37 olarak belirlenmiştir. Benzerlik katsayı değerlerine göre BA525 ile BA119 isimli genotipler 0.0456 değeri ile birbirine en az benzerlik gösteren, BERKE ve BA119 isimli genotipler 0.8387 benzerlik katsayı değeri en çok benzerlik gösteren genotipler olarak tespit edilmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. IPBS bantlarına göre DICE benzerlik katsayı değerleri

	PG2018	CARISMA	BA151	BA440	FLASH	LYDIA	BA525	BA119	EDESSA	BERKE
PG2018	1									
CARISMA	0.2500	1								
BA151	0.6923	0.4000	1							
BA440	0.3448	0.3200	0.3810	1						
FLASH	0.3158	0.2667	0.4706	0.3000	1					
LYDIA	0.1000	0.2857	0.4444	0.1333	0.3636	1				
BA525	0.0983	0.0521	0.0846	0.0654	0.1248	0.5714	1			
BA119	0.6250	0.4286	0.6923	0.6061	0.2609	0.1000	0.0456	1		
EDESSA	0.3846	0.5455	0.3810	0.5926	0.3529	0.1333	0.1245	0.5333	1	
BERKE	0.7407	0.3478	0.8182	0.5714	0.3333	0.1250	0.0741	0.8387	0.4800	1

Çalışmamızda elde edilen dendrogramdan ultrametrik benzerlik değerleri oluşturulmuş olup, DICE benzerlik değerleri ile Mantel testi gerçekleştirilmiştir. Analizin sonucuna göre 10 pamuk genotipine ait $r=0.9026$ (korelasyon katsayı değeri) olarak saptanmıştır. Korelasyon değerinin 0.9 veya 0.9'dan büyük olması dendrogram ile benzerlik değerleri arasında yüksek korelasyon oluşturduğunu ve dendrogramın benzerlik değerlerini iyi temsil ettiği bildirilmektedir (Mohammadi ve Prasanna, 2003).

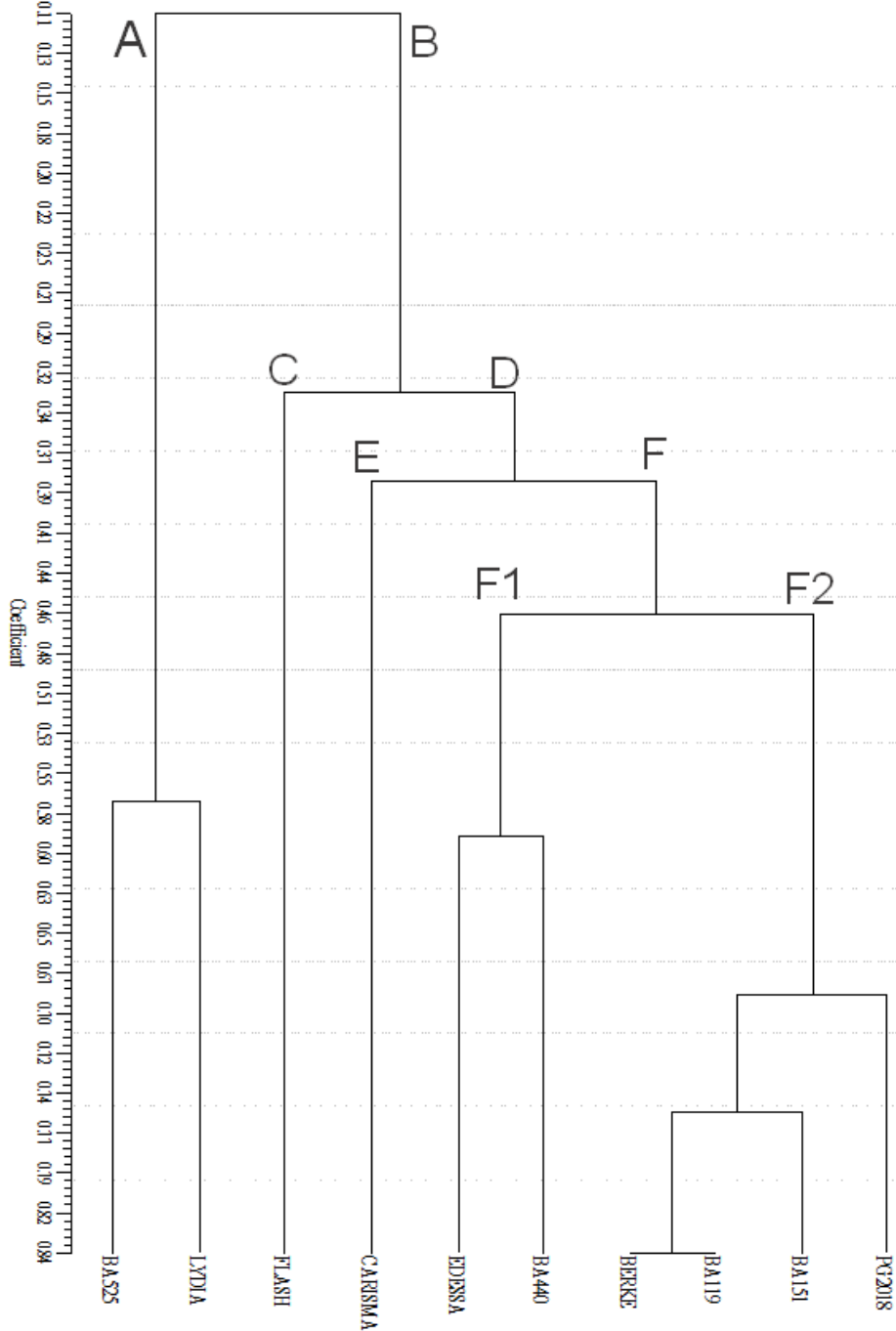
UPGMA dendrogramı (Şekil 1) incelediğinde, genotipleri ilk başta iki ana kümeye ayırmıştır (A ve B). A kümesinde BA525

ve LYDIA isimli genotipler kendi aralarında grup oluşturmuşlardır. İki boyutlu temel bileşen analizinde de bu iki genotip diğerlerinden ayrılmıştır (Şekil 3). Bu iki genotip her ne kadar diğer genotiplerden ayrılırsa da üç boyutlu grafikte ise birbirinden farklı noktalarda yer aldıkları görülmüştür (Şekil 4). B ana küme altında alt kümeler oluşmuştur (C ve D). C kümesinde sadece FLASH isimli genotip yer almıştır. D alt kümesinde ise iki yeni alt küme meydana gelmiştir (E ve F). E kümesinde sadece CARISMA isimli genotip yer almıştır. F kümesi de kendi içerisinde iki alt kategoriye ayrılmıştır (F1 ve F2). F1 kümesini oluşturan EDESSA ve BA440 isimli genotipler

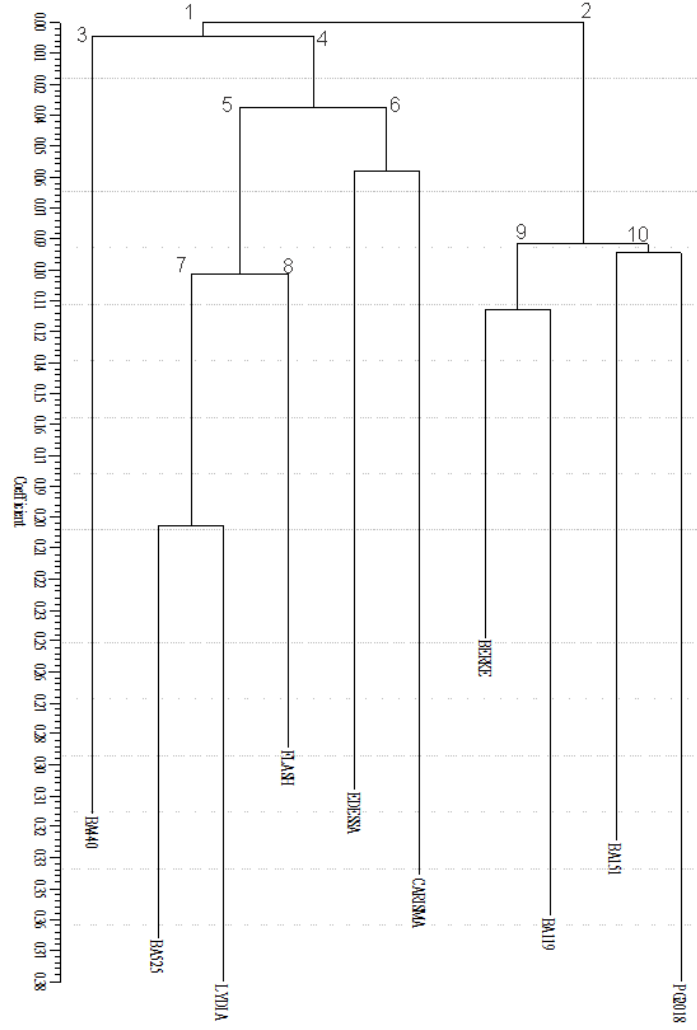
iki boyutlu ve üç boyutlu temel bileşen grafiğinde de aynı kümeye ait olduklarını göstermişlerdir. F2 kümesini oluşturan BERKE, BA119, BA151 ve PG2018 isimli genotiplerde iki boyutlu ve üç boyutlu temel bileşenler grafiğinde aynı kümeye ait oldukları görülmüştür.

NJ dendogramında (Şekil 2), genotipler ilk olarak iki ana kümeye bölünmüştür (1 ve 2). Sonrasında, 1 numaralı küme iki alt kümeye bölünmüştür (3 ve 4). 3 numaralı kümeyi BA440 isimli genotip oluşturmuştur. 4 numaralı küme 5 ve 6 numaralı alt kümelere ayrılmıştır. 6 numaralı kümeyi oluşturan EDESSA ve CARISMA isimli genotipler UPGMA dendogramından farklı olarak kendi aralarında küme oluşturmuş olup, iki ve üç boyutlu

dendogramda da birbirine daha yakın oldukları belirlenmiştir. NJ dendogramının 6 numaralı kümeyi, temel bileşenler grafiğiyle benzer sonuç verdiği saptanmıştır. 5 numaralı grup kendi içerisinde iki alt kümeye ayrılmıştır (7 ve 8). FLASH isimli genotip 8 numaralı kümeyi oluştururken, BA525 ve LYDIA isimli genotipler 7 numaralı kümeyi oluşturmuştur. Temel bileşen analizinde de bu genotipler diğer genotiplerden oldukça farklı noktalarda yer aldığı belirlenmiştir. 2 numaralı ana küme kendi içerisinde iki alt kümeye ayrılmıştır (9 ve 10). 2 numaralı ana kümenin UPGMA dendogramı ile benzerlik gösterdiği saptanmıştır. BA119 ve BERKE isimli genotipler 9 numaralı kümeyi oluştururken, PG2018 ve BA151 isimli genotipler 10 numaralı kümeyi oluşturmuşlardır.



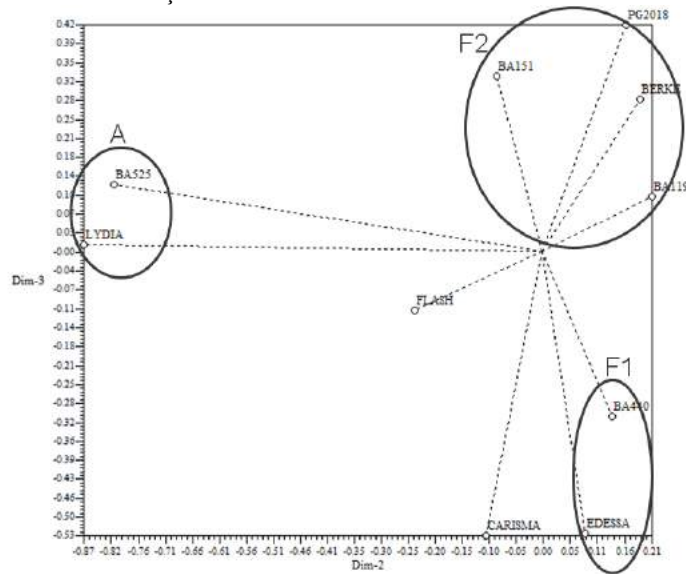
Şekil 1. Benzerlik değerlerinden yararlanılarak oluşturulan UPGMA dendogramı



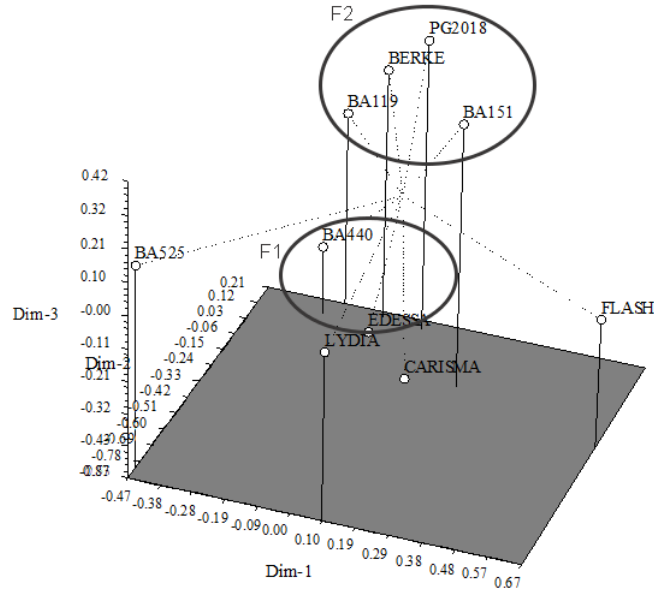
Şekil 2. 10 pamuk genotipi için NJ dendrogramı

10 pamuk genotipi arasındaki genotipik farklılığı göstermek için PCA yapılmıştır. PCA sonucunda 2D ve 3D grafikler elde edilmiştir. PCA popülasyonların genetik ilişkilerini 2D

veya 3D mekanlarda görsel grafik oluşturmada kullanılmaktadır (Klaedtke ve ark., 2017).



Şekil 3. IPBS verileriyle elde edilen 2D grafik



Şekil 4. IPBS verileriyle elde edilen 3D grafik

PCA ile elde edilen dendogramlar ve grafikler incelendiğinde birbiri arasında tutarlı sonuçlar tespit edilmiştir. Benzerlik değerleri kullanılarak elde edilen PCA sonucunda 2D

ve 3D grafiklerin ilk üç ana bileşenin değerleri toplamına göre toplam varyasyonun %71.93'ünü açıkladığı saptanmıştır (Tablo 3).

Tablo 3. İlk üç ana bileşene göre Eigen değerleri

Bileşenler	Eigen Değeri	Yüzdeleri	Eklemeli Toplamları
1.	4.52	45.21	45.21
2.	1.61	16.11	61.32
3.	1.06	10.61	71.93

4. Sonuç

Bu çalışma çerçevesinde ticari olarak tescilli 10 pamuk çeşidi 6 IPBS markörleriyle incelenmiştir. Elde edilen veriler NTSYS ve POWERMARKER programları ile analiz edilmiştir. Markörlere ait karakterizasyon değerleri hesaplanmıştır. Pamuk genotiplerinin DICE benzerlik değerleri, iki ve üç boyutlu temel bileşenler grafiği, UPGMA ve NJ dendogramları belirlenmiştir. Son olarak, temel bileşenler analizine ait Eigen değerleri hesaplanmıştır.

Çalışmamızda 6 IPBS markörleri pamukta DNA bölgelerini çoğalttığı saptanmıştır. Bu markörler toplamda 46 bantın 36'sında polimorfizm oluşturmuş ve ortalama %77.65 polimorfizm yüzdesi belirlenmiştir. Ortalama H değerlerini 0.34, ortalama PIC değerini 0.27 ve DICE benzerlik katsayı değerini 0.37 olarak tespit edilmiştir. Korelasyon katsayı değeri ise (r) de 0.9026 olarak saptanmıştır. BA525 isimli genotip ile BA119 isimli genotip 0.0456 benzerlik katsayı değeri ile birbirine en uzak, BERKE ve BA119 isimli genotipler 0.8387 benzerlik katsayı değeri ile en yakın ilişki gösteren genotipler olarak belirlenmiştir.

BA525 ile BA119 isimli genotipler DICE benzerlik indeksinden yararlanılarak oluşturulan UPGMA ve NJ dendogramları üzerinde birbirlerinden farklı kümelerde yer aldıkları belirlenmiştir (Şekil 1 ve Şekil 2). Bu iki genotip ıslah çalışmalarında amaca yönelik kullanılabilirliği kabul edilebilir. Fakat, farklı moleküler ve morfolojik çalışmalar ile bu iki genotipin incelenmesi devam etmelidir.

Sonuç olarak, ıslah programlarında kullanılan pamuk genotiplerinin moleküler varyasyonu göz önüne alınarak IPBS markörlerinin filogenetik çalışmalarında etkili bir şekilde kullanılabilirliği, bu sonuçların genetik ve ıslah çalışmalarına katkı sağlayabileceği kanaatine varılmıştır.

5. Teşekkür

Bu araştırma Iğdır Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğünün desteği ile (2018-FBE-A05) gerçekleştirilmiştir. Desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

Kaynakça

- Ashraf, J., Malik, W., Iqbal, M. Z., ALI, K. A., Qayyum, A., Noor, E., ... & Ahmad, M. Q. (2016). Comparative analysis of genetic diversity among bt cotton genotypes using est-ssr, issr and morphological markers. *Journal Of Agricultural Science And Technology*, 18(2) 517-531.
- FAOSTAT, 2018. <http://www.fao.org/faostat/en/#home>. (Erişim tarihi: 04/10/2020).
- Fryxell, P.A., (1992). A Revised Taxonomic Interpretation of *Gossypium* L. (Malvaceae). *Rheedea*, 2, 108-165.
- Beasley, J. O. (1942). Meiotic chromosome behavior in species, species hybrids, haploids, and induced polyploids of *Gossypium*. *Genetics*, 27(1), 25.
- Dice, L.R., (1945). Measures of The Amount of Ecologic Association Between Species. *Ecology*, 26, 297-302.
- Doyle, J.J., Doyle, J.E., (1990). Isolation of Plant DNA From Fresh Plant Tissue. *Focus*, 12,13-15.
- Kalendar, R., Antonius, K., Smýkal, P. & Schulman, A.H., (2010). IPBS: A Universal Method for DNA Fingerprinting and Retrotransposon Isolation. *Theoretical and Applied Genetics*, 121(8), 1419-1430.
- Klaedtke, S.M., Caproni, L., Klauck, J., de la Grandville, P., Dutartre, M., Stassart, P.M., Chable, V., Negri, V. & Raggi, L., (2017). Short-Term Local Adaptation of Historical Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Varieties And Implications for In Situ Management of Bean Diversity. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(3), 493.
- Liu, K., & Muse, S. V. (2005). PowerMarker: an integrated analysis environment for genetic marker analysis. *Bioinformatics*, 21(9), 2128-2129.
- Mohammadi, S.A. & Prasanna, B.M., (2003). Analysis of Genetic Diversity in Crop Plants Salient Statistical Tools and Considerations. *Crop Science*, 43(4), 1235-1248.
- Noormohammadi, Z., Hasheminejad-Ahangarani, Y. F., Sheidai, M., Ghasemzadeh-Baraki, S., & Alishah, O. (2013). Genetic diversity analysis in Opal cotton hybrids based on SSR, ISSR, and RAPD markers. *Genetics and molecular research: GMR*, 12(1), 256-269.
- Percival, A.E., Wendel, J.F. & Stewart, J.M., (1999). Taxonomy and germplasm resources. In: Smith CW, Cothren JT, editors. Cotton: Origin, History, Technology, and Production. New York, NY, USA: John Wiley and Sons Inc., pp. 33-63.
- Rohlf, J.F., (2000). NTSYS-pc: Numerical Taxonomy and Multivariate Analysis System. Exeter Software, Setauket, New York.
- Tan, A. (1998). Current status of plant genetic resources conservation in Turkey. In International Symposium on In Situ Conservation of Plant Genetic Diversity, Antalya (Turkey), 4-8 Nov 1996. Central Research Institute for Field Crops.
- Wendel, J. F., Brubaker, C. L., & Percival, A. E. (1992). Genetic diversity in *Gossypium hirsutum* and the origin of upland cotton. *American Journal of Botany*, 79(11), 1291-1310.
- Wendel, J.F., Crohn, R.C., (2003). Polyploidy and the evolutionary history of cotton. *Advances in Agronomy* 78: 139-186.
- Yu, J.Z., Fang, D.D., Kohel, R.J., Ulloa, M., Hinze, L.L., Percy, R.G., Zhang, J., Chee, P., Scheffler, B.E. & Jones, D.C., (2012). Development of core set of SSR markers for the characterization of *Gossypium* germplasm. *Euphytica*. 187(2), 203-213.



Molecular Characterization of Partial RdRp Genes of *Tomato Ringspot Virus* Isolates from Turkey

Nevin Akdura^{1*}, Murat Şevik²

^{1*} Hakkari University, Faculty of Education, Department of Mathematics and Science Education, Hakkari, Turkey (ORCID: 0000-0001-6162-0500),
nevinakdura@hakkari.edu.tr

² Hatay Mustafa Kemal University, Faculty of Veterinary, Department of Virology, Hatay, Turkey (ORCID: 0000-0002-9604-3341),
muratsevik@mku.edu.tr

(First received 20 October 2020 and in final form 5 December 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.813438)

ATIF/REFERENCE: Akdura, N. & Şevik, M. (2021). Molecular Characterization of Partial RdRp Genes of *Tomato Ringspot Virus* Isolates from Turkey. *European Journal of Science and Technology*, (21), 74-82.

Abstract

Tomato ringspot virus (ToRSV) is a virus having isometric structure and single helix positive sense and is formed by a combination of two genomic RNA (RNA-1 and RNA-2) in the *Secoviridae* family from the *Nepovirus* group, and it causes economically devastating diseases in a wide range of hosts. In this study, 300 leaf samples from tomato (*Solanum lycopersicum*), pepper (*Capsicum annuum*), cucumber (*Cucumis sativus*) and grapevine (*Vitis vinifera*) plants exhibiting virus and virus-like symptoms were collected from three different districts of Hakkari province between September 2014 and July 2015. The samples were tested for ToRSV infection on DNA fragments of 411 bp in size by Reverse Transcription Polymerase Chain Reaction (RT-PCR), using specific primers for the RNA dependent RNA polymerase (RdRp) gene. Seven out of 300 leaf samples (2.3%) were found to be infected with ToRSV. The virus was detected in tomato, pepper and cucumber samples, but its presence was not so evident in grapevine plants. The DNA sequences were submitted to GenBank (Accession numbers; KT728407, KT728408, KT728409 and KT728410). Our ToRSV isolates were compared with the ones available in GenBank, and the analysis of four ToRSV isolate RdRp gene sequences revealed that the nucleotide and amino acid homology were 83-100% and 94-100%, respectively. Phylogenetic analysis suggested that Turkish ToRSV isolates and currently available ToRSV isolates in GenBank were divided into three distinct groups. This analysis provides, to the best of our knowledge, the first report on the partial RdRp sequence of ToRSV in Turkey.

Keywords: Tomato ringspot virus, Partial RNA dependent RNA polymerase gene, Reverse Transcription Polymerase Chain Reaction (RT-PCR), Sequence analysis.

Türkiye'den *Domates Halkalı Leke Virüsü* İzolatlarının Kısmi RdRp Genlerinin Moleküler Karakterizasyonu

Öz

Domates halkalı leke virüsü (*Tomato ringspot virus*, ToRSV); *Nepovirus* grubundan *Secoviridae* familyasında yer alan, iki genomik RNA (RNA-1 ve RNA-2) kombinasyonu ile oluşan izometrik yapıda ve tek sarmal pozitif duyarlı bir virüs olup, çeşitli konukçularda ekonomik olarak yıkıcı etkilere neden olmaktadır. Bu çalışmada, Eylül 2014 - Temmuz 2015 tarihleri arasında Hakkari ilinin üç farklı ilçesinden virus ve virüs benzeri belirtiler gösteren domates (*Solanum lycopersicum*), biber (*Capsicum annuum*), hıyar (*Cucumis sativus*) ve asma (*Vitis vinifera*) bitkilerinden 300 yaprak örneği toplanmıştır. Örnekler, RNA'ya bağlı RNA polimeraz (RdRp) geni için spesifik primerler kullanılarak Ters Transkripsiyon Polimeraz Zincir Reaksiyonu (RT-PCR) ile 411 bp boyutundaki DNA fragmanlarında ToRSV enfeksiyonu için test edilmiştir. 300 yaprak örneğinden yedisinin (%2.3) ToRSV ile enfekte olduğu tespit edilmiştir. ToRSV, domates, biber ve hıyar örneklerinde tespit edilirken asma örneklerinde tespit edilmemiştir. Bu çalışma sonucunda elde edilen DNA dizileri GenBank'a yüklenmiştir (Erişim numaraları; KT728407, KT728408, KT728409 ve KT728410). Ülkemiz ToRSV izolatları GenBank'ta bulunan ToRSV izolatları ile karşılaştırılmış ve dört ToRSV izolatı RdRp gen sekansının analizi ile nükleotid ve amino asit benzerliğinin sırasıyla %83-100 ve %94-100 olduğu tespit edilmiştir. Filogenetik analiz, ülkemiz ve GenBank'ta mevcut bulunan ToRSV izolatlarının üç farklı gruba ayrıldığını göstermiştir. Yapılan bu çalışma, bilginiz dahilinde, Türkiye'deki ToRSV'nin kısmi RdRp dizisinin ilk raporudur.

Anahtar Kelimeler: Domates halkalı leke virüsü, Kısmi RNA bağımlı RNA polimeraz geni, Ters Transkripsiyon Polimeraz Zincir Reaksiyonu (RT-PCR), Dizi analizi.

* Corresponding Author: nevinakdura@hakkari.edu.tr

1. Introduction

Plants are exposed to a multitude of exogenous stimuli that include attacks by pathogens and herbivores and changes in environmental conditions (Jovel et al., 2011). Plant viruses are an important group of pathogens leading to several diseases in agricultural products around the world. Plant virus diseases cause significant economic losses by lowering the efficiency and degrading the quality of the yield (Matthews, 1992). Viral diseases are often asymptomatic and do not pose a risk; however, they might cause serious problems such as severe damage and even death when the virus is transmitted to a susceptible host (Mathews, 2010). ToRSV (*Tomato ringspot virus*) has (genus *Nepovirus*, subgroup C, family *Secoviridae*) a bipartite single-stranded positive-sense RNA genome encapsidated in icosahedral particles (Stace-Smith, 1996; Sanfaçon et al., 2006, 2009; Walker et al., 2015). Both RNA1 and RNA2 are translated into polyproteins that are cleaved at specific sites by an RNA1-encoded proteinase to yield several functional proteins. RNA1 encodes two proteins of unknown function (X1 and X2), a putative nucleotide triphosphate binding (NTB) helicase, a genome-linked viral protein (VPg), a protease (Pro) and a putative RNA dependent RNA polymerase (Pol) (Rott et al., 1995; Li et al., 2011). In nature, ToRSV is transmitted by mechanical ways, seeds, transplant, pollen, vegetative organs and different species of *Xiphinema* nematode (Braun and Keplinger, 1973; Bitterlin et al., 1987; Brown et al., 1994; Pinkerton et al., 2008).

Genetic variation and the phylogenetic analysis of whole genomes, genome segments, and complete and partial sequences of specific genes including coat protein (CP), Pro, VPg and Pol of ToRSV isolates have been studied to understand their genetic diversity. Due to the availability of more sequences from diverse geographical regions, RdRp gene was also used for RT-PCR studies of ToRSV isolates (Wang and Sanfaçon, 2000; Wei and Clover, 2008; Fuchs, 2010; Farmahini et al., 2014). ToRSV isolates infect herbaceous hosts with varying degrees of

virulence (Bitterlin et al., 1987; Wang and Sanfaçon, 2000; Li et al., 2011). Previous studies have shown the presence of ToRSV in some deciduous fruit trees, rose, almond, grapevine, apple, soybean, tomato and eggplant in Iran, Jordan, Lebanon, Alabama and Latvia (Abou Ghanem-Sabanadzovic et al., 2003; Pourrahim et al., 2004; Golnaraghi et al., 2004; Massumi et al., 2009; Al-Nsour et al., 2010; Coneva et al., 2010; Moini, 2010; Moini et al., 2010; Sattary et al., 2011; Safaizadeh and Saidi, 2011; Sokhansanj et al., 2012; Gospodaryk et al. 2013; Farmahini et al., 2014). The detection and molecular characterization of ToRSV isolates is significant for understanding the epidemiology of the virus and management of the diseases caused by this virus.

Turkey is the gene center of many important vegetable species, and the vegetable sector is an important branch of agriculture (Turhan and Korkmaz, 2006). The presence of ToRSV in Turkey was reported in the literature (Fidan, 1995; Sertkaya, 2010; Yeşilçöllü et al., 2011; Sertkaya et al. 2013). Since no information was available on virus diseases of vegetables and grapevines in Hakkari, the samples used in this study were collected from different areas and tested using RT-PCR, a technique which successfully confirms the presence of both isolates in the leaves of infected tomato, pepper and cucumber plants.

2. Material and Method

2.1. Field Surveys

In the early autumn of 2014 and the summer of 2015, a total of 300 leaf samples of tomato, pepper, cucumber and grapevine plants (75 samples from each host) were collected from Çukurca, Şemdinli and Center districts of Hakkari province (Figure 1). The samples showing suspicious viral symptoms such as necrosis, chlorosis and ring stains on leaves were transported to the laboratory in cool conditions and were stored at 4°C (Figure 2).



Figure 1. Survey location on the map of Turkey



Figure 2. Symptomatic plants collected in the field survey from Hakkari province: a) cucumber, b) pepper, c) grapevine, d) tomato

2.2. Preparation of Primers and RNA Extraction

The primer pairs were synthesized to amplify about 411 base pairs designed to protect the regions of the gene RdRp (Table 1).

RNA extraction from the leaf samples of tomato, pepper, cucumber and grapevine plants were performed using the RNeasy Plant Mini Kit from Qiagen GmbH (Hilden, Germany) according to the manufacturer's protocol.

Table 1. Primer information used in RT-PCR analyses

Primer	Sequence	Reference
ToRSV-RdRp (Forward primer)	F 5'-GAAGAGCTAGAGCCTCAACCAGG-3'	Sokhansanj and Rakhshandehroo, 2012
ToRSV-RdRp (Reverse primer)	R 5'-AGTCTCAACTTAACATACCAC-3'	

2.3. RT-PCR

The partial RdRp gene of ToRSV was amplified by using a two-step RT-PCR method. A one-step RT-PCR was performed using Qiagen OneStep RT-PCR Kit. As a positive control, the plant sample (the original host: *Pelargonium* sp) obtained from Leibniz-Institut DSMZ German Collection of Microorganisms and Cell Cultures (Germany) was used. The total RT-PCR reaction volume was 25 µl and consisted of 1 µl of primers F and R (0.6 µM), 11 µl RNase-free water, 5 µl of 5X Qiagen OneStep RT-PCR buffer, 1 µl dNTPs (400 µM), 1µl reverse transcriptase and 5 µl of RNA isolated from the leaf samples. PCR conditions were conducted in two phases. In the first phase, reverse transcription cDNA (complementary DNA) was synthesized at 50°C for 30 minutes. In the second phase, HotStarTaq DNA polymerase was activated at 95°C for 15 min during the heating stage. The next step was carried out according to the PCR procedure. First, a gradient PCR with an annealing temperature ranging from 57 to 67.9°C was conducted to determine the optimum temperatures for the primer set by using the positive control sample. The obtained results demonstrated that 67.5°C was the optimum binding temperature for the primer set used for the amplification of RdRp gene. The temperature was raised to 94°C for 1 min to denature the template, followed by a 67.5°C anneal for 30 s and a 72°C extension for 1 min. Normally, 40 cycles were performed, followed by a 10 min

extension at 72°C and then lowering it to a holding temperature of 4°C. The obtained PCR products with 100 bp markers of DNA were separated using a 1.5% agarose gel electrophoresis imaging under ultraviolet light by using a Transilluminator (White/2UV) (UVP, USA).

2.4. Purification of PCR Products

The RT-PCR products were purified using a High Pure PCR Purification Kit (Roche, Germany) according to the instructions specified by the manufacturer.

2.5. Sequencing and Sequence Comparison

The nucleotide sequences of RdRp gene were determined by sequencing them with an automated DNA sequencer (Applied Biosystems) directly sequenced at the Refgen (Ankara, Turkey). The resulting DNA sequences were transferred to the Vector NTI DNA sequence analysis program. The sequence analysis was performed with Vector NTI Advance™ software (Invitrogen, Carlsbad, CA, USA). In order to identify their similarities, the nucleotide and amino acid sequences in the RdRp genes of ToRSV Turkish isolates were compared with each other by doing multiple sequence comparisons with Align X program. The ToRSV nucleotide and amino acid sequences were compared with the sequences from the ToRSV isolates available in the GenBank database (Table 2).

Table 2. List of ToRSV isolates used in this study

Accession number	Isolate	Host	Origin	Size (bp)	Reference
AF135407	Grape Yellow Wein (GYV)	grape	USA	2958	Wang and Sanfacon, 2000
AF135408	Peach Yellow Bud Mosaic; PYB-1	peach	USA	2958	Wang and Sanfacon, 2000
AF135409	Raspberry; Rasp-1	raspberry	USA	2958	Wang and Sanfacon, 2000
AF135410	T392	-	USA	2958	Wang and Sanfacon, 2000
DQ641947	raspberry	raspberry	Canada	2133	unpublished
GQ141525	Tomato ringspot virus strain 19-7	blueberry cv. Bluecrop	USA	585	Fuchs, 2010
GQ141526	Tomato ringspot virus strain 4-5	blueberry cv. Patriot	USA	585	Fuchs, 2010
GQ141527	Tomato ringspot virus strain 5-11	blueberry cv. Patriot	USA	585	Fuchs, 2010
GQ141528	Tomato ringspot virus strain 11-12	blueberry cv. Patriot	USA	585	Fuchs, 2010
JQ972695	ToRS-Teh	pepper	IRAN	373	Sokhansanj et al., 2012
KM083890	13C280	Prunus sp	USA	8209	Walker et al., 2015
KM083892	GYV-2014	grapevine	USA	8358	Walker et al., 2015
KM083894	Rasp1-2014	raspberry	USA	8224	Walker et al., 2015
KT728407	TR/HAKKARI/2014/DN1	tomato	Turkey	282	this study
KT728408	TR/HAKKARI/2014/DF5	tomato	Turkey	282	this study
KT728409	TR/HAKKARI/2014/BR9	pepper	Turkey	282	this study
KT728410	TR/HAKKARI/2014/BZ127	pepper	Turkey	282	this study
KR911669	Rasp-CL	raspberry	Chile	8209	Rivera et al., 2016
L19655	-	raspberry	Canada	8214	Rott et al., 1995
MF176958	OG1	grapevine	USA	5987	Yao et al., 2018
MH427294	ToRSV-RNA1-WA	<i>Apis mellifera</i>	Australia	3978	Roberts et al., 2018

2.6. Phylogenetic Analysis

Phylogenetic analysis was performed to determine the relationship between ToRSV Turkish isolates and related ToRSV isolates in the GenBank database. The partial sequence of the RdRp genes of ToRSV isolates was compared using Mega (version X) program (Kumar et al., 2018). By means of utilizing the phylogenetic analysis data, a phylogenetic tree was created using the neighboring joining method which is applied to Kiamura two parameter algorithm. 100 repetitive bootstrap analyses were performed in order to statistically determine the accuracy of the generated parentage (Kimura, 1980).

3. Results and Discussion

3.1. Molecular Detection

RT-PCR analysis of 300 samples collected from the field surveys revealed that seven samples were infected with ToRSV. A fragment of 411 bp of the RdRp gene was amplified from the infected leaves of tomato, pepper, and cucumber plants (Figure 3). According to RT-PCR results, ToRSV was detected in three tomatoes and two peppers collected from Çukurca district and one cucumber and one pepper collected from the Center district of Hakkari province. None of the grapevine plants collected from Çukurca, Şemdinli, and the Center districts of Hakkari were found to be infected with ToRSV. 2.3% a total of the

collected samples were found ToRSV infected in Hakkari. The highest ToRSV incidence rate was observed in Çukurca (6.84%), while the lowest incidence rate was seen in the Center (1.28%). ToRSV wasn't detected in the samples collected from Şemdinli (Table 3). The results showed that although ToRSV is still not very common and not wide-spread in all districts of Hakkari.

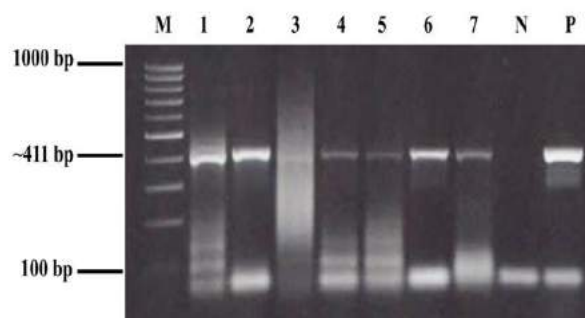


Figure 3. Amplification of the partial RdRp gene of ToRSV from tomato and pepper samples by using RT-PCR. Lane M-100 bp DNA marker; Line 1 (tomato/Çukurca), 2 (tomato/Çukurca), 3 (tomato/Çukurca), 4 (pepper/Çukurca), 5 (pepper/Çukurca), 6 (cucumber/Center), 7 (pepper/Center), N-Negative control; water; P-Positive control

Table 3. Infection rates and collected/infected plant samples from Hakkari province for RT-PCR

District	Collected Samples / Infected Samples				Infection rate (%)
	Tomato	Pepper	Cucumber	Grapevine	
Center	39/0	43/1	44/1	30/0	1.28
Çukurca	28/3	18/2	19/0	8/0	6.84
Şemdinli	8/0	14/0	12/0	37/0	0
Total	75/3	75/3	75/1	75/0	2.33

3.2. Sequencing and Phylogeny

The partial RdRp gene sequence of the ToRSV Turkish isolates was deposited in GenBank under the accession numbers KT728407, KT728408, KT728409, and KT728410. The ToRSV isolates obtained from tomatoes were named TR/HAKKARI/2014/DN1 and TR/HAKKARI/2014/DF5, and the isolates obtained from the peppers were named TR/HAKKARI/2014/BR9 and TR/HAKKARI/2014/BZ127.

The genetic diversity of ToRSV Turkish isolates and international isolates was determined through the analysis of the RdRp gene, the sequences of which were available in the GenBank database. Due to the different size of the reference gene sequences, all sequence data were evaluated at 282 bp of equal size. The sequence of partial RdRp gene and the full-length of RNA1 of ToRSV isolates from several countries and available in the GenBank database were found to be 16 (12 from the USA, 1 from Chile, 2 from Canada and 1 from Australia). The RNA1 full-length sequence is currently available for eight isolates of ToRSV (Accession nos; AF135407, AF135408, AF135409, AF135410, KM083890, KM083892, KM083894, L19655, KR911669, MH427294, MF176958, DQ641947) and the partial sequence information of the RdRp gene is available for four isolates of ToRSV (Accession nos; GQ141525, GQ141526, GQ141527, GQ141528). The geographical origin, isolate, host, and accession numbers of comparable ToRSV isolates from around the world are given in Table 2.

The RdRp gene sequences of four ToRSV Turkish isolates were highly conserved with 98-100% and 96-100% sequence identity at the nucleotide and amino acid level, respectively (Table 4, 5). A low variation (up to 4%) was found between the four Turkish isolates. The sequences of 16 international isolates, including four Turkish isolates, showed 83-100% identity in the nucleotide sequence of the partial RdRp gene and the full-length of RNA1. Thus, the RdRp gene of ToRSV isolates had a maximum of 17% sequence difference. The obtained results showed that the ToRSV strains from the USA (Accession nos; AF135409, AF135410, KM083890), Australia (Accession no; MH427294) and Canada (Accession no; L19655) had the highest similarity with ToRSV-TR/HAKKARI/2014/DN1 isolate (Accession no; KT728407) (96-100%), ToRSV-TR/HAKKARI/2014/DF5 isolate (Accession no; KT728408) (96-100%), ToRSV-TR/HAKKARI/2014/BR9 isolate (Accession no; KT728409) (94-98%) and ToRSV-TR/HAKKARI/2014/BZ127 (Accession no; KT728410) (96-99%), while the ToRSV isolates from the USA (Accession nos; AF135407, GQ141525, GQ141526, GQ141526, GQ141527, GQ141528, KM083892, KM083894, KR911666, MF176958) and Canada (Accession no; DQ641947) had the lowest similarity with Turkish isolates of ToRSV (86-90%) (Table 4).

Table 4. Nucleotide identity percentage of the RdRp gene sequences of ToRSV isolates

GenBank accession no	Identity (%) nucleotid																		
	KM083892	DQ641947	KM083894	GQ141527	GQ141528	KR911669	GQ141525	GQ141526	MF176958	AF135409	L19655	AF135410	KM083890	MH427294	AF135408	KT728407	KT728408	KT728409	KT728410
AF135407	100	83	83	84	84	84	84	86	86	89	89	89	87	88	88	88	88	86	88
KM083892		83	83	84	84	84	84	86	86	89	89	89	87	88	88	88	88	86	88
DQ641947			100	98	98	98	97	94	90	89	89	89	88	89	89	89	89	88	89
KM083894				98	98	98	97	93	90	88	88	89	88	88	88	88	89	87	89
GQ141527					100	99	96	94	91	90	90	90	89	90	90	90	90	89	90
GQ141528						100	97	93	90	89	89	90	89	89	89	89	90	88	90
KR911669							97	94	91	89	89	89	89	89	89	89	89	88	89
GQ141525								93	91	90	90	91	90	90	90	90	90	89	90
GQ141526									91	90	90	90	90	89	90	90	89	88	89
MF176958										89	89	89	88	89	90	90	90	89	90
AF135409											100	100	98	98	98	98	97	96	97
L19655												100	98	98	98	98	97	96	97
AF135410													98	98	98	98	98	96	98
KM083890														97	96	96	96	94	96
MH427294															97	97	97	95	97
AF135408																100	100	98	99
KT728407																	100	98	99
KT728408																		98	100
KT728409																			98

94 amino acid sequences of the RdRp genes of Turkish isolates were compared with ToRSV isolates in GenBank with results ranging from 94-100%. The obtained results demonstrated that the ToRSV strains from the USA (Accession nos; AF135407, AF135408, AF135409, AF135410, GQ141525, GQ141526, GQ141527, GQ141528, KM083890, KM083892,

KM083894), Canada (Accession nos; L19655, DQ641947), Chile (Accession no; KR911666) and Australia (Accession no; MH176958) had the highest similarity with ToRSV-TR/HAKKARI/2014/DN1 isolate (97-100%) and ToRSV-TR/HAKKARI/2014/DF5 (97-100%) isolate, while ToRSV-TR/HAKKARI/2014/BR9 isolate (94-97%) and ToRSV-

TR/HAKKARI/2014/BZ127 (96-99%) isolate had the lowest similarity with Turkish ToRSV isolates (Table 5).

Table 5. Amino acid identity percentage of the RdRp gene sequences of ToRSV isolates

GenBank accession no	Identity (%) aminoacid																		
	KM083892	AF135410	L19655	AF135408	AF135409	DQ641947	GQ141525	GQ141526	GQ141527	GQ141528	KM083890	KM083894	KR911669	KT728407	KT728408	KT728409	KT728410	MF176958	MH427294
AF135407	100	97	97	97	97	97	96	97	97	97	97	97	97	97	97	94	96	96	97
KM083892		97	97	97	97	97	96	97	97	97	97	97	97	97	97	94	96	96	97
AF135410			100	100	100	100	99	100	100	100	100	100	100	100	100	97	99	99	100
L19655				100	100	100	99	100	100	100	100	100	100	100	100	97	99	99	100
AF135408					100	100	99	100	100	100	100	100	100	100	100	97	99	99	100
AF135409						100	99	100	100	100	100	100	100	100	100	97	99	99	100
DQ641947							99	100	100	100	100	100	100	100	100	97	99	99	100
GQ141525								99	99	99	99	99	99	99	99	96	98	98	99
GQ141526									100	100	100	100	100	100	100	97	99	99	100
GQ141527										100	100	100	100	100	100	97	99	99	100
GQ141528											100	100	100	100	100	97	99	99	100
KM083890												100	100	100	100	97	99	99	100
KM083894													100	100	100	97	99	99	100
KR911669														100	100	97	99	99	100
KT728407															100	97	99	99	100
KT728408																97	99	99	100
KT728409																	96	96	97
KT728410																		98	99
MF176958																			99

Phylogenetic analyses are useful for determining the genetic relationships among different isolates. The use of greater numbers and more diverse isolates improve the reliability of phylogenetic trees constructed for identification and classification of isolates. Phylogenetic analysis using the maximum likelihood analysis yielded three major phylogenetic clusters (I, II, III) of ToRSV isolates shown in Figure 4, some of them being composed of a large majority of isolates (Group I).

According to the phylogenetic tree that was formed based on the partial RdRp gene sequence of ToRSV, the first phylogenetic group (I) contains isolates from the USA, Australia and Turkey. Phylogenetic analyses inferred a clustering of Turkish isolates into a single group. A phylogenetic tree based on RdRp gene sequences revealed that Turkish isolates in this study belonged to Group Ia, clustering with the isolates from the USA. All ToRSV isolates represented phylogenetic groups I, II and III originating with raspberry, grapevine, prune, peach, blueberry and bee isolates from the USA, Canada, Chile and Australia. Phylogenetic analysis based on the nucleotide

sequence of the RdRp gene showed that Turkish isolates and other known ToRSV strains might be divided into three distinct groups. A moderate level of genetic variation in the RdRp gene was observed among these groups on the basis of their geographical and host origins. Variations up to 4% in the RdRp gene nucleotide sequence of bases differentiated at least three distinct subgroups of ToRSV strains or isolates. The second and third phylogenetic groups (II and III) contain isolates from the USA, Canada and Chile. Turkish ToRSV isolates may be considered as separate strains from the other isolates in these groups. ToRSV isolates from the generated parental strain are thought to be genetically similar to the RdRp gene and may be a genetic variation, especially of the isolates from the USA. The analysis placed Turkish isolates in phylogenetic Group I, which mainly harbors raspberry, *Apis mellifera* and prune isolates. It is noteworthy that the host of the Australian isolate is not a plant, it is honey bee, and is evaluated in the same group for phylogenetic analysis. The analysis of the phylogenetic relationships of Turkish isolates with other ToRSV isolates showed a closer relationship with *Peach Yellow Bud Mosaic* PYB-1 isolate (Accession no AF135408).

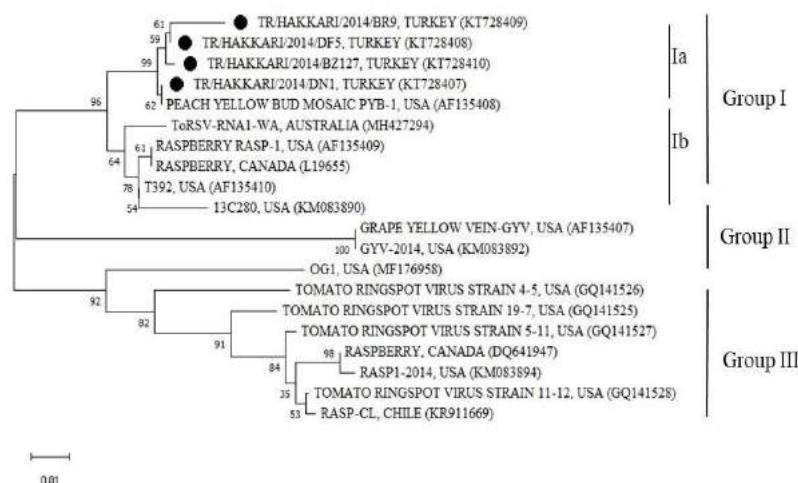


Figure 4. Phylogenetic tree based on the nucleotide sequence of a RdRp gene of the ToRSV. All data obtained from the GenBank nucleotide database were indicated by accession numbers. Data analysis and tree construction were performed using the MEGA (Version X) program.

In this study, ToRSV was detected in tomato samples and pepper plants from Hakkari province. Azeri (1994) was detected presence of ToRSV in the samples of stone fruit trees tested by ELISA in Aegean Region and later ToRSV was determined on tomato, pepper, cucumber and eggplant, blackberry, grape, strawberry in Turkey (Fidan, 1995; Sertkaya, 2010; Yeşilçöllü et al., 2011; Sertkaya et al., 2013). ToRSV was detected in wild blackberry (*Rubus fruticosus* L., Rosaceae) some stunted plants growing in the border of stone-fruit orchards in Hatay province in Eastern Mediterranean Region by Sertkaya, 2010. The results of biological indexing were also confirmed by serological assays (ELISA). This work represents the first report of ToRSV in wild blackberry (*R. fruticosus*) in Turkey. Yeşilçöllü et al. (2011) were determined to incidence of strawberry viruses in the important growing areas of Aegean Region, the total of 221 plant samples were randomly collected from strawberry plantations with virus like symptoms. ToRSV in 7 samples were found to be present by RT-PCR. Sertkaya et al. (2013) were investigated *Raspberry ringspot virus* (RpRSV), *Grapevine fan leaf virus* (GFLV), *Arabis mosaic virus* (ArMV), *Strawberry latent ring spot virus* (SLRV) *Tomato black ring virus* (TBRV), ToRSV and *Tobacco ringspot virus* (TRSV) in the Hatay Province vineyards by DAS-ELISA. Mixed infection with 4 samples GFLV + ArMV and 2 samples GFLV + ToRSV were determined. ToRSV has not been detected intensively in the studies in our country, but there is not much molecular determination.

Only 7 of the 300 samples collected in this study were identified as ToRSV infected. Since samples showing symptom of virus are collected, it can be thought that samples without ToRSV may be infected with different viruses. 2.3% a total of the samples were found ToRSV infected. A total of 104 symptomatic eggplant leaf samples were collected in fields in the province of Tehran (Iran) by Sokhansanj et al. (2012) and analyzed by DAS-ELISA and dot-blot assay (DIBA) for the presence of ToRSV using specific polyclonal antibodies (Aglia, USA). Results showed the presence of ToRSV in 23% of the samples. Field surveys were conducted to assess the incidence of ToRSV infection in stone fruit trees in Jordan by Al-Nsour et al. (2010). A total of 2546 samples collected from commercial orchards, a mother block, nurseries and a varietal collection were tested for ToRSV infection by DAS-ELISA. Results showed that 16% of the tested samples were infected with the virus.

It was found that the country which mostly introduced the disease to Turkey was Iran. We conceived that the geographical position of Hakkari could be the reason for this situation. The studies conducted in Iran by using ELISA, DAS-ELISA, Dot Blot Hybridization and RT-PCR reported that ToRSV was detected in 20% of apple, walnut, rose, almond, tomato, tabasco, pepper, and eggplant plants (Moini, 2010; Moini et al., 2010; Safaeizadeh and Saidi, 2011; Sattary et al., 2011; Sokhansanj and Rakhshandehroo, 2012; Sokhansanj et al., 2012). Here, it was presumed that the host differences in the study may affect the results. As the overall results obtained in this study revealed, the occurrence of ToRSV in Iran was relatively high compared to Hakkari.

Wang and Sanfaçon (2000) showed that direct sequenced PCR products could be used to make phylogenetic inferences. The sequence data obtained in this study were obtained directly from the RT-PCR products. In the present study, full-length and shorter sequences of the RdRp gene available in GenBank and obtained from ToRSV Turkish isolates were used to determine the RdRp based genetic diversity and phylogenetic classification of ToRSV isolates from around the world. It would be interesting to further characterize the genetic variability of different ToRSV isolates using partial RdRp gene sequences to advance our knowledge about the diversity of these viruses. Sequence analysis of nucleotides and amino acids showed that ToRSV isolates were closely related to each other, and there were only slight differences in both nucleotide and amino acid sequences in their RdRp gene. The little genetic variation among them probably indicates that there is only one strain of Turkish isolate. The resulting nucleotide sequence T32 isolate (Accession no; AF135410) had the highest identity (98%) of the RdRp gene in ToRSV isolates from blueberry and raspberry samples (Accession nos; MF176958, AF135409) and had the lowest identity (86%) in the ToRSV isolate from grapevine (Accession no; AF135407). ToRSV was detected in the symptomatic 112 pear leaf samples from all surveyed provinces with infection ranging from 32.4% up to 35.0% by Farmahini et al. (2014). DNA fragments of 580 bp in size were RT-PCR amplified using specific primers designed according to RdRp genes of ToRSV, which indicated 96% highest identities with available sequences of ToRSV isolates in GenBank. Fuchs, (2010) showed that plantings of highbush blueberry cultivars

'Patriot' and 'Bluecrop' showing virus-like symptoms and decline in vigor in New York were surveyed for the occurrence of viruses. ToRSV was identified in leaf samples by DAS-ELISA. Their presence was confirmed by RT-PCR with amplification of 320 bp of the RdRp genes. Comparative sequence analysis of New York isolates indicated moderate (80.7%) to high (90.8%) nucleotide sequence identities with other ToRSV. Sokhansanj and Rakhshandehroo (2012) were detected presence of ToRSV on chili pepper (*Capsicum frutescens*) in Iran. The sequences (Accession no. JQ972695) obtained by cloning was compared and found 91-94% similarity with blueberry cv. Patriot (Accession no. GQ141528) and blueberry cv. Bluecrop (Accession No. GQ141525).

The difference in host types is remarkable in phylogenetic analysis. There were no tomato and pepper plants as hosts in the isolates recorded in the GenBank database. TR/HAKKARI/2014/DN1 and TR/HAKKARI/2014/DF5 isolates were obtained from tomatoes and showed 100% similarity to nucleotide and amino acid sequences. In this group, ToRSV-TR/HAKKARI/2014/DN1 isolate was slightly different from the other three ToRSV Turkish isolates. It was observed that the host varieties did not cause any genetic variation. This may be due to the fact that geographically close isolates belong to the same group and the isolates from our country show similarities to these isolates, which might stem from the importation of plant products from these countries. The analysis placed blueberry, raspberry and grapevine ToRSV isolates in phylogenetic Group II and all other grapevine isolates in phylogenetic Group III. The results obtained from host range and phylogenetic analyses revealed that Turkish isolates were close to each other. Little genetic variation was found among them, which probably indicates more similarity with ToRSV isolates from the USA. Despite the fact that the RdRp gene and gene products of all analyzed ToRSV isolates were very similar, it was clear that the sequence of the ToRSV isolates from the USA more closely matched with the sequence of Turkish isolates based on the alignment of nucleotide and amino acid sequences and the phylogenetic analysis of nucleotide sequences of ToRSV isolates. The results obtained from the phylogenetic analysis of Turkish isolates detected in different plant varieties from the same districts are significant. It is believed that the Turkish isolates being genetically similar may be a genetic variation relative to the host and phylogenetically closer to each other.

ToRSV is transmitted by different species of *Xiphinema* nematode (Brown et al., 1994; Pinkerton et al., 2008). The presence of ToRSV in this region of Turkey has been attributed to the possibility of importing vectors and vegetables from other countries. Plant viruses are generally carried by vectors and for ToRSV, this is the nematode vector *Xiphinema americanum* sensu lato. Elekçioğlu et al. (1994) identified species belonging to the *Xiphinema* genus in the Eastern Mediterranean region. In the light of our findings, it's possible to talk about the presence of this nematode vector *Xiphinema* in Hakkari despite the fact that its presence in Hakkari hasn't been reported so far and that its natural spread is considered to be limited.

4. Conclusions and Recommendations

It was noted that the use of pesticide and domestic seeds was not common in the fields where fieldwork was conducted in Hakkari. The presented data together with the other available sequences provide useful information concerning ToRSV isolates found in Turkey. These findings may be particularly

relevant in the light of the recent reports on the presence of ToRSV in vegetables in Turkey. The given data indicates a growing distribution of the ToRSV infections worldwide. The RdRp gene is also highly conserved in various hosts. However, a significant level of variability was not found within the same genomic stretch between the four Turkish virus isolates, which means more extensive molecular investigation is required. In this report, four distinct isolates of ToRSV were described. To the best of our knowledge, this is the first report on the partial genome sequences of ToRSV isolates from Turkey.

5. Acknowledge

The study was supported by a grant from The Scientific and Technical Research Council of Turkey, TUBITAK (Project no: TOVAG-1140864). We are grateful to Dr. Stephan Winter, Dr. Wulf Menzel (Leibniz Institute DSMZ, Germany) and Farshad Rakhshandehroo (Islamic Azad University, Tehran, Iran) for providing us ToRSV isolate as positive control and support.

References

- Abou Ghanem-Sabanadzovic, N., Choueiri, E., El Zammar, S., & Jreijiri, F. (2003). Viruses of Stone fruit trees in Lebanon. *Options Méditerranéennes: Série B. Etudes et Recherches*, 45, 25-27.
- Al-Nsour, A., Mansour, A., Al-Banna, L., & Salem, N. (2010). Detection of Tomato Ringspot Virus on Stone Fruit Trees in Jordan. *Jordan Journal of Agricultural Sciences*, 6(2), 240-246.
- Arlı-Sökmen, M., & Şevik M. A. (2006). Viruses infecting field-grown tomatoes in Samsun province. *Turkey Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 39(4), 283-288.
- Azeri, T., & Çiçek, Y. (1997). Detection of virus diseases affecting almond nursery trees in western Anatolia (Turkey). *EPPO Bulletin*, 27(4), 547-550.
- Bitterlin, M. W., Gonsalves, D., & Scorza, R. (1987). Improved mechanical transmission of tomato ringspot virus to Prunus seedlings. *Phytopathology*, 77, 560-563.
- Braun, A. J., & Keplinger, J. A. (1973). Seed transmission of tomato ringspot virus in raspberry. *Plant Disease Reporter*, 57, 431-432.
- Brown, D. J. F., Halbrendt, J. M., Jones A.T., Vrain T. C., & Robbins, R. T. (1994). Transmission of three North American nepoviruses by populations of four distinct species of the *Xiphinema americanum* groups. *Phytopathology*, 84, 646-649.
- Coneva, E., Murphy, J. F., Boozer, R., & Velasquez, N. (2010). Incidence and Distribution of Viruses in Blackberry (*Rubus* sp.) in Alabama. *International Journal of Fruit Science*, 10, 87-95.
- Elekçioğlu, D.H., Ohnesorge, B., Lung, G., & Uygun, N. (1994). Plant parasitic nematodes in the East Mediterranean region of Turkey. *Nematol. Medit.*, 22, 59-63.
- Farmahini, M., Pourrahim, R., Elahinia A., Rouhibakhsh, A., & Farzadfar, S. H. (2014). An Investigation of Apple Chlorotic Leaf Spot (ACLSV) and Tomato Ring Spot (ToRSV) in Some Iranian Pear Gardens. *Iranian Journal of Virology*, 8(1), 25-32.
- Fidan, Ü. (1995). Virus diseases of vegetables in greenhouses in İzmir and Muğla. *Journal of Turkish Phytopathology*, 24(1), 7-14.
- Fuchs, M. (2010). Association of Tobacco ringspot virus, Tomato ringspot virus and *Xiphinema americanum* with a decline of highbush blueberry in New York. *Julius-Kühn-Archiv*, 427, 15-17.

- Fuchs, M., Abawi, G. S., Marsella-Herrick, P., Cox, R., Cox, K. D., Carroll, J. E., & Martin, R. R. (2010). Occurrence of tomato ringspot virus and tobacco ringspot virus in highbush blueberry in Newyork state. *Journal of Plant Pathology*, 92(2), 451-459.
- Golnaraghi, A. R., Shahraeen, N., Pourrahim, R., Farzadfar, Sh., & Ghasemi, A. (2004). Occurrence and relative incidence of viruses infecting soybeans in Iran. *Plant Disease*, 88, 1069-74.
- Gospodaryk, A., Moroëko-Bièevska, I., Pùpola, N., & Kàle, A. (2013). Occurrence of Stone fruit viruses in plum orchards in Latvia. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B*, 67, 2, 683, pp. 116-123.
- Jovel, J., Walker, M., & Sanfaçon, H. (2011). Salicylic Acid-Dependent Restriction of Tomato ringspot virus Spread in Tobacco Is Accompanied by a Hypersensitive Response, Local RNA Silencing, and Moderate Systemic Resistance. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 24(6), 706-718.
- Kimura, M. (1980). A simple method for estimating evolutionary rates of base substitutions through comparative studies of nucleotide sequences. *Molecular Evolution*, 16 (2), 111-120.
- Kumar S., Stecher G., Li M., Knyaz C., & Tamura K. (2018). MEGA X: Molecular Evolutionary Genetics Analysis across computing platforms. *Molecular Biology and Evolution*, 35, 1547-1549.
- Li, R., Mock, R., Fuchs, M., Halbrendt, J., Howell, B., & Liu, Z. R. (2011). Characterization of the partial RNA1 and RNA2 3' Untranslated region of Tomato ringspot virus isolates from North America. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 33, 94-99.
- Malhotra, B., Onyilagha, J. C., Bohm, B. A., Towers, G. H. N., James, D., Harborne, J. B., & French, C. J. (1996). Inhibition of tomato ring spot virus by flavonoids. *Phytochemistry*, 43, 1271-1276.
- Massumi, H., Shaabani, M., Hosseini Pour, A., Heydarnejad, J., & Rahimian, H. (2009). Incidence of viruses infecting tomato and their natural hosts in the southeast and central regions of Iran. *Plant Disease*, 93: 67-72.
- Matthews, R. E. F. (1992). *Fundamentals of plant virology*. Academic press, Inc. California, USA, 403, pp. 44.
- Mathews, D. M. (2010). Optimizing detection and management of virus diseases of plants (1) and Emerging tree diseases in Southern California (2). In: *Proceedings of the Landscape Disease Symposium*, Camarillo, CA, pp. 10-20.
- Moini, A. A. (2010). Identification of Tomato ringspot virus (ToRSV) on apple in Iran. *Australasian Plant Disease Notes*, 5: 105-106.
- Moini, A. A., Roumi, V., Masoumi, M., & Izadpanah, K. (2010). Widespread occurrence of Tomato ring spot virus in deciduous fruit trees in Iran. *Julius-Kühn-Archiv*, 427: 127-28.
- Onyilagha, J. C., Malhotra, B., Elder, M., French, J. C., & Towers, G. H. N. (1997). Comparative studies of inhibitory activities of chalcones on tomato ringspot virus (ToRSV). *Canadian Journal of Plant Pathology*, 19(2), 133-137.
- Pinkerton, J. N., Kraus, J., Martin, R. R., & Schreiner, R. P. (2008). Epidemiology of *Xiphinema americanum* and Tomato ringspot virus on red raspberry, *Rubus idaeus*. *Plant Disease*, 92, 364-371.
- Pourrahim, R., Rakhshandehro, F., Farzadfar, Sh., & Golnaraghi, A. R. (2004). Natural occurrence of Tomato ringspot virus on grapevines in Iran. *Plant Pathology*, 53, 237.
- Rott, M. E., Gilchrist, A., Lee, L., & Rochon, D. (1995). Nucleotide sequence of tomato ringspot virus RNA-1. *Journal of General Virology*, 76, 465-473.
- Safaizadeh, M., & Saidi, A. (2011). First report of Tomato ringspot virus on tomato in Iran. *Journal of Plant Pathology*, 93(4), 74-78.
- Sanfaçon, H., Zhang, G., Chisholm, J., Jafarpour, B., & Jovel, J. (2006). *Molecular Biology of Tomato Ringspot Nepovirus, a Pathogen of Ornamentals, Small Fruits and Fruit Trees*. In: Teixeira da Silva, J. (Ed.), *Global Science Books*, London, pp.540-546.
- Sanfaçon, H., Wellink, J., Le Gall, O., Karasev, A., van der Vlugt, R., & Wetzels, T. (2009). Secoviridae: a proposed family of plant viruses within the order Picornavirales that combines the families Sequiviridae and Comoviridae, the unassigned genera Cheraivirus and Sadwavirus, and the proposed genus Torradovirus. *Archives of Virology*, 154, 899-907.
- Sattary, M., Rakhshandehroo, F., & Mozaffari, J. (2011). Detection of Tomato ringspot virus in rose and almond in Fars Province of Iran. *APS 6-10 August*, Hawaii.
- Sertkaya, G. (2010). Tomato ringspot nepovirus (ToRSV) in wild blackberry (*Rubus fruticosus* L.) in Hatay province of Turkey. 21st International Conference on Virus and other Graft Transmissible Diseases of Fruit Crops.
- Sertkaya G., Yıldırım, A. E., Uremis, I., & Sertkaya, E. (2013). Investigation of Some Nepoviruses in the Vineyard Areas of Hatay Province. *Journal of MKU Faculty of Agriculture*, 18(2), 39-46.
- Sokhansanj, Y., & Rakhshandehroo, F. (2012). First Report of Tomato ringspot virus Infecting Pepper in Iran. *Disease Notes*, 96(12), 1828.
- Sokhansanj, Y., Rakhshandehroo, F., & Pourrahim, R. (2012). First Report of Tomato Ringspot Virus on Eggplant in Iran. *Journal of Plant Pathology*, 94(4), S4.94.
- Stace-Smith, R. (1996). *Tomato ringspot nepovirus*. *Viruses of Plants*, CAB International, Wallingford (GB), pp. 1309-1312.
- Turhan, P., & Korkmaz, S. (2006). Determination of Tomato Spotted Wilt Virus in Çanakkale by Serological and Biological Methods. *Ankara University, Faculty of Agriculture. Journal of Agricultural Sciences*, 12(2), 130-136.
- Walker, M., Chisholm, J., Wei, T., Ghoshal, B., Saeed, H., Rott, M., & Sanfaçon, H. (2015). Complete genome sequence of three tomato ringspot virus isolates: evidence for reassortment and recombination. *Archives of Virology*, 160, 543-547.
- Wang, A., & Sanfaçon, H. (2000). Diversity in the coding regions for the coat protein, VPg, protease, and putative RNA-dependent RNA polymerase among tomato ringspot nepovirus isolates. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 22: 145-149.
- Wei, T., & Clover, G. (2008). Use of primers with 5 non-complementary sequences in RT-PCR for the detection of nepovirus subgroups A and B. *Journal of Virological Methods*, 153, 16-21.
- Yeşilçöllü, S., Gümüş, M., & Paylan, I. C. (2011). Studies on the Detection of Viruses in Strawberry Growing Areas in Aegean Region. *Journal of Turkish Phytopathology*, 40(1-3), 13-20.



Electromagnetic Shielding Effectiveness of Wollastonite/PANI/Colemanite Composites

Ethem İlhan Şahin^{1,2*}, Mehriban Emek³

^{1*} İstanbul Technical University, Information Institute, Department of Satellite Communications and Remote Sensing, İstanbul, Turkey (ORCID: 0000-0001-7859-9066)
shnethem@gmail.com

² Adana Alparslan Türkeş Science and Technology university, Advanced Technology Research and Application Center, Adana, Turkey

³ Adıyaman University, Gölbaşı Vocational School, Department of Computer Technologies, Adıyaman, Turkey, (ORCID: 0000-0001-7322-9808),
memek@adiyaman.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 25 Ekim 2020 ve Kabul Tarihi 10 Aralık 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.820561)

ATIF/REFERENCE: Şahin, E. İ. & Emek, M. (2021). Electromagnetic Shielding Effectiveness of Wollastonite/PANI/Colemanite Composites. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 83-89.

Abstract

In this study, composites of wollastonite-colemanite were produced by using mixed oxide technique. The wollastonite-colemanite compositions were formed with various proportions for the structural analysis. The results of wollastonite-colemanite structural analysis indicated that second phase did not form in wollastonite and colemanite. The single phases wollastonite-colemanite compounds were measured after sintering between 900-1100°C for X-ray diffraction (XRD). Additionally, the wollastonite/polyaniline/colemanite composites were produced by hot pressing using the compositions of wollastonite-colemanite in different proportions and aniline. The weight ratios of (wollastonite-colemanite) and aniline were 1:1 respectively and epoxy resin was used to produce microwave shielding effectiveness composites. The microwave shielding performances of wollastonite/polyaniline/colemanite composites were investigated by shielding effect in 0–8 GHz, using two-port vector network analyzer (VNA). A minimum of –41.65 dB shielding effectiveness performance was obtained in 6.26 GHz at the thickness of 1.5 mm. According to the parameters determined in terms of properties, the wollastonite-colemanite compounds were produced as composite with a PANI base and their features were characterized for shielding effect. This microwave shielding performance can be modulated simply by controlling the content of polyaniline and content of wollastonite-colemanite in the samples for the wider and required frequency bands.

Keywords: Electromagnetic shielding effectiveness, Polyaniline, Wollastonite, Colemanite, Polymer-matrix composites.

Wollastanit/PANI/Kolemanit Kompozitlerin Elektromanyetik Kalkanlama Etkinliği

Öz

Bu çalışmada, wollastanit-kolemanit kompozitleri oksitlerin karışımı tekniği kullanılarak üretilmiştir. Wollastanit-kolemanit bileşimleri, yapısal analiz için çeşitli oranlarda oluşturulmuştur. Wollastanit-kolemanit yapısal analiz sonuçları, wollastanit ve kolemanit'te ikinci fazın oluşmadığını göstermiştir. Tek fazlı wollastanit-kolemanit bileşikler, X-ışını kırınımı (XRD) için 900-1100°C arasında sinterlendikten sonra ölçüldü. Ayrıca wollastanit / polianilin/ kolemanit kompozitleri, farklı oranlarda wollastanit-kolemanit ve anilin bileşimleri kullanılarak sıcak presleme ile üretilmiştir. (Wollastanit-Kolemanit) ve anilinin ağırlık oranları sırasıyla 1:1 idi ve epoksi reçinesi mikrodalga kalkanlama etkili kompozitleri üretmek için kullanıldı. Wollastanit/ polianilin / kolemanit kompozitlerinin mikrodalga kalkanlama performansları, iki portlu vektör network analizörü (VNA) kullanılarak 0–8 GHz' de ekranlama etkisi ile incelenmiştir. 1.5 mm kalınlıkta 6.26 GHz'de minimum -41.65 dB ekranlama etkinliği performansı elde edildi. Özellikler açısından belirlenen parametrelere göre wollastanit-kolemanit bileşikler PANI bazlı kompozit olarak üretilmiş ve özellikleri kalkanlama etkisi için karakterize edilmiştir. Bu mikrodalga kalkanlama performansı, daha geniş ve gerekli frekans bantları için numunelerdeki polianilin içeriği ve wollastanit-kolemanit içeriği kontrol edilerek kolay bir şekilde modüle edilebilir.

Anahtar Kelimeler: Elektromanyetik kalkanlama etkinliği, Polianilin, Wollastanit, Kolemanit, Polimer-matrisli kompozitler.

* Sorumlu Yazar: shnethem@gmail.com

1. Introduction

Particularly with the recent development of electronic equipment and gadgets that emit electromagnetic energy in various frequency ranges, Protecting digital devices against causes of interference has become critical [1]. By causing data leakage, mistaken operations, or perhaps even total failure, EMI may affect the functionality of electronics devices. Also there is an increasing concern more about harmful effects on human health of electromagnetic (EM) radiation, particularly from future 5th generation (5 G) communication systems [2-3]. There is a serious impact of electromagnetic radiation on people's health. That use EMI shielding materials is a powerful technique to significantly reduce the above problems in an effective method. Novel and efficient EMI shielding materials have received considerable attention in this respect [4-6].

In particular, the best shielding material must be with properties as with electrical conductivity, excellent thermal, and high EMI shielding efficiency [7-9]. Overall, in recent times, such features involving EMI shielding materials have been in great demand. EM radiation absorption and reflection are two main mechanisms of EMI shielding, resulted from its direct interaction of mobile charge carriers and magnetic / electric dipoles, respectively, in shielding materials with EM fields. The materials' electrical conductivity is known to be the most a fundamental parameter for controlling the characteristics of EMI shielding [2,3,10].

To EMI shielding, composite materials with discontinuous conducting filler including such metal flakes, metallic wires and particles and carbon fibers are commonly used[11]. With in past few years, due to its excellent electrical conductivity, metal-based composites have attracted a great deal of attention.[10,12-13] In addition, in the gigahertz frequency region, they have even been potentially used as EMI shielding materials [14]. In addition, due to its specific characteristics such as high conductivity and tunable EMI shielding performance, conductive polymer composites are great candidates for EMI shielding [15-16]. Polymer-based electrical conductor composites provide additional benefits such as lightweight, cost-effective and corrosion-resistant composites, compared to traditional metallic composite materials [17]. In order to acquire polymer composites with shielding properties, there are two common tactics. The first is the incorporation of functional conductive fillers into the matrix of the insulating polymer [18-20]. In order to achieve enhanced EMI shielding, the creation of a well-established conductive network is necessary. High intrinsic conductivity and/or high loading of functional fillers are usually needed to achieve acceptable shielding efficiency [21-22]. Other approach is to apply the coating technique by utilizing layered structure to produce polymer composites. Because the functional components appear to be limited to a thin coating sheet, the local conductive component concentration is increased. In this system, the electrical conductivity networks are rapidly created. By this efficient and simple strategy, the shielding efficiency of composites can be improved effectively [23-24].

Due to its remarkable properties, such as good electrical conductivity and non-transparency to EM radiation, conductive polymers such as polyaniline (PANI) [25-26], polypyrrole,[27] and poly(3,4-ethylene dioxythiophene) are also reported to be beneficial in increasing EMI shielding efficiency. The specific physical and chemical properties of polyaniline (PANI) are known

as, good environmental stability, low-cost and ease of production [28]. Compounds made of polymers and inorganic / organic filling materials are polymer composites. In controlled environments, PANI can be manufactured by chemically oxidative polymerization of aniline. PANI can be indeed doped easily and shows adequate stability [29-31].

The natural calcium metasilicate (CaSiO_3) is wollastonite. Technically, wollastonite contains 48.3 wt. % CaO and wt. % 51.7 SiO_2 . It is seldom found to be pure and occurs as large-leaved masses. It is commonly observed with a fibers framework in sharp-looking or tiny particles such as needles [32]. Wollastonite has high temperature resistance and high mechanical resistance. It is possible to control its porosity, it can be easily pressed and its insulating capability is good. Wollastonite is a raw material which is non-carcinogenic, readily available and transportable [33-34]. Wollastonite is very known inorganic filling used in plastics that occurs naturally, which improves mechanical properties such as stiffness and tensile strength but decreases the strength of the impact. With the application of a proper elastomer as an impact modifier, which can also serve as a compatibilizer, this limitation can be eliminated. Wollastonite has been used as a reinforcing for epoxy resin, polystyrene and PVC [35-36].

One of most significant boron minerals is Colemanite ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$). The concrete samples obtained in the concrete mixture using colemanite can become an effective armor for gamma and neutrons radioactivity. This mineral is used in nuclear reactor for power bars [37]. Colemanite is the most commonly used industrial boron mineral in the earth [38]. They are very influential material since boron is widely used in a great deal of fields, including detergent, glass, agriculture, cosmetics, leather, rubber, paint. In addition to, boron is a revolutionary application field for both nuclear energy, ceramics, energy storage [39].

Besides, single polymer membrane separators do not meet the norm for better electrochemical properties and mechanical properties almost at the same time, because the most efficient way to enhance the effectiveness of the separator is to compound different polymers or add other compounds to the polymer matrix [40-41].

In previous research, the Colemanite / Pani / SiO_2 composite has quite a sample width of 1.5 mm and a maximum electromagnetic shielding effect of -41.1 dB at 16.09 GHz frequency [42]. Moreover, an economical box-test setup has been developed to be used for textile composite with electromagnetic shielding effectiveness research [43]. Electromagnetic shielding properties of wood composites coated with vermiculite doped rigid polyurethane were also examined [44]. In another analysis, for instance, the maximum electromagnetic shielding effect were calculated as -39 dB at 1.6 GHz for 0.25 wt % MWCNT composites [45].

The performance value of the shielding effect is connected to how far the incoming electromagnetic wave passes through the material. It is known that the incoming electromagnetic wave is decreased by 90 percent with a shielding effect value of -10 dB, and 10 percent passes to the opposite side [46-47].

The wollastonite-colemanite compounds were produced as a composite with a PANI base according to the optimal parameters defined in terms of properties, and their shielding effect characteristics were characterized. (Wollastonite-

colemanite):PANI was manufactured at various proportions by hot pressing. Composites of microwave shielding effectiveness were produced using epoxy at various proportions of aniline / (wollastonite-colemanite) compound such as 1/1. New (wollastonite-colemanite):PANI composites were produced. XRD (Bruker / Alpha-T) devices were used to identify the composites that were characterized. The microwave shielding effect values of (Wollastonite-colemanite):PANI composites were calculated in the frequency range of 0-8 GHz, including wlan and mobile phone frequencies, by the two-port vector network analyzer (R & S FSH-K42) machine.

2. Material and Method

2.1. Preparation of Wollastonite-Colemanite

Wollastonite-colemanite powders were obtained as a compound with using mixed oxide technique. Wollastonite powders, which can be purchased as a commercial product, are manufactured and offered for sale by the company (Tecnodiec Company, Eskişehir, Turkey) in some of these 40 µm particle size compositions. Wollastonite powders, which can be purchased as a commercial product, are manufactured and offered for sale by the firm (Tecnodiec Company, Eskişehir, Turkey) in some of these 40 µm particulate size compositions. Wollastonite powders, which can be purchased as a commercial product, are manufactured and offered for sale by the firm (Tecnodiec Company, Eskişehir, Turkey) in some of these 40 µm particulate size compositions.

Ground colemanite mineral (GC) reachable as a commercial product, in some of these compositions with a particle size of 75 µm, is produced and offered for sale by a company (Eti Mining Company, Turkey). Colemanite and Wollastonite powders were mixed in stoichiometric quantities, according to the wollastonite-colemanite compositions in the ethanol medium, powders were mixed for 20 hours in ethanol medium in a plastic bottle at 25-75 wt. %, 50-50 wt. % and 75-25 wt. %, respectively.

After the slurries were dried at a temperature of 100 °C for 24 h, they were calcinated at a temperature of 600 °C for 4 h in a fully closed alumina crucible to avoid evaporation losses, which were checked before and after calcination by weighing the samples. Using a uniaxial press with 2 MPa pressure, they were pressed into pellets with just a diameter of 10 mm and a thickness of 1-2 mm, after the calcinated powders were grounded in an agate mortar. After being mounted in a sealed crucible, the pellets were sintered at 1000 °C for 4 hours at a heating and cooling rate of 300 °C /hour to reduce the loss of volatile species. Powders of single phase wollastonite-colemanite were calcinated at 600 °C and then sintered at 1000 °C. The phases in sintered samples were characterized by XRD (X-ray diffractometry - D2 Phaser Bruker AXS) with Cu- K α radiation ($\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$) in the range 2 θ :10 – 70° and at a scan rate of 1°/min. Using X-ray powder diffractometry, the solubility limit, described as without disturbing the structure of the main structure (wollastonite-colemanite), was determined. The microwave shielding effectiveness of the wollastonite/ PANI /colemanite composites were determined in the frequency range of 0-8 GHz with the two-port vector network analyzer (R & S FSH-K42).

2.2. Preparation of Polyaniline / (Wollastonite-Colemanite) Composites

The single-phases wollastonite-colemanite (at 25-75 wt. %, 50-50 wt. % and 75-25 wt. %, respectively) powders which have the compositions of CaSiO₃ and (Ca₂B₆O₁₁.5H₂O) (account for 100 wt. % of aniline quantity), and 1 ml aniline monomer were applied to 35 ml hydrochloric acid solution (0.1 mol L⁻¹) and dispersed for 30 min. by mechanical stirring. 2.49 g of ammonium persulfate (APS) was dissolved in a 15 ml hydrochloric acid solution (1 mol L⁻¹). The APS solution was then slowly activated by stirring strongly dropwise to the preceding mixture solution. Polymerization was completed at 0°C for 12 h in an ice-water bath. The composites were manufactured by filtering and washing the reaction mixture with deionized water, and ethanol, which was then vacuum-dried for 24 h at 60 °C. The PANI/ wollastonite- colemanite composites with different ratios [(Aniline/ wollastonite- colemanite (at 25-75 wt.%), Aniline/ wollastonite- colemanite (at 50-50 wt. %), and Aniline/ wollastonite- colemanite (at 75-25 wt. %) = (1:1)] were produced to investigate the effect of the PANI ingredient on the electromagnetic shielding effect characteristics. The wollastonite-colemanite compositions were obtained as a PANI based composite. PANI/ wollastonite- colemanite was fabricated at different ratios by hot pressing.

2.3. Preparation of Epoxy- (Polyaniline / Wollastonite–Colemanite) Composites

The composite materials were prepared via molding and curing the mixture of powders and epoxy compositions of (wollastonite-colemanite) / PANI. The specimen powder to epoxy mixing ratio was 2:1 by weight. At 5 MPa pressure and 100 °C for 1 h, the molding was carried out in a hydraulic press. For shielding effectiveness calculations, they were pressed into pellets with a 20 mm diameter and 1.5 mm thickness. Composites of microwave shielding effectiveness were fabricated using epoxy at particular of aniline / (wollastonite-colemanite) as in 1/1.

3. Results and Discussion

3.1. XRD Analysis of Wollastonite-Colemanite Composites

The XRD device diffracted its X-ray pattern to describe the mineralogical characterization of wollastonite and colemanite. The XRD analysis of the samples (wollastonite, colemanite) annealed at 1000 °C for 4 h demonstrated that single phase structure was formed, additionally PANI was analyzed utilizing XRD device (Fig. 1). As could be seen on the detecting of wollastonite, colemanite and polyaniline XRD patterns (Fig. 1), principal phases are defined as wollastonite (PDF Card No: 00-042-0550), colemanite (PDF Card No: 01-082-1825), polyaniline (PDF Card No: 00-053-1717). The single phase structure of the powders was obtained while using the mixed oxide synthesis with a suitable calcination temperature and removal of the potential intermediate phases. The more well homogenization of the powders during heating enhanced the diffusion process. All of the samples were sintered at 1000 °C for 24 hours. The XRD analysis revealed that there was no secondary phase in the powders for wollastonite, colemanite and PANI. The diffraction peaks of the samples were consistent with wollastonite, colemanite and their phase structures were still pure wollastonite-colemanite phase. In addition, wollastonite-colemanite formation mainly counts on temperature and high temperatures are sometimes needed to form single phases.

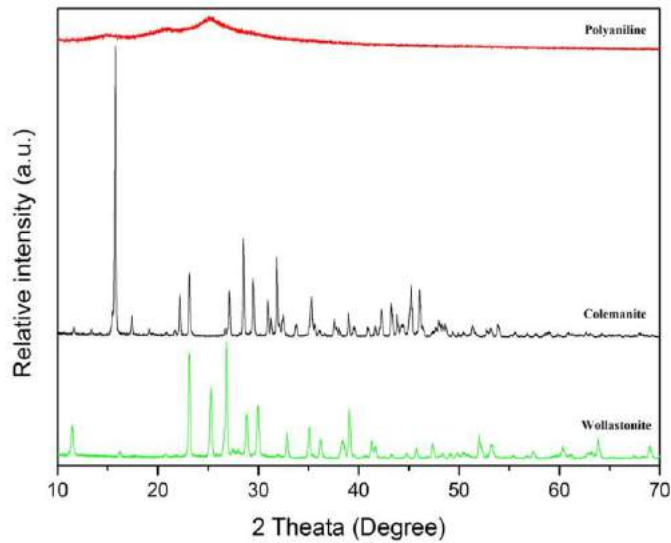


Figure 1. XRD patterns of wollastonite, colemanite and PANI compositions, sintered (only wollastonite and colemanite) during 4 h at 1000°C

3.2. EMI Shielding Measurements of Wollastonite/PANI/Colemanite Composites

Figure 2 shows the frequency dependence of the shielding effect of the epoxy- (PANI/ wollastonite-colemanite) composites in the frequency range of 0-8 GHz. Among the PANI/ wollastonite-colemanite composites, It is observed that epoxy- (wollastonite-colemanite (25-75 wt. %) /Aniline: 1/1) has more visible efficacy on microwave shielding effectiveness properties than other composites. The PANI/ wollastonite-colemanite compositions (wollastonite-colemanite (25-75 wt. %) /Aniline: 1/1) powders and epoxy indicated just one band at 6.26 GHz with -41.65 dB. In addition, it accomplished a shielding effect which is less than -10 dB in the frequency bands among 2.72 GHz and 3.95 GHz, 4.72 GHz and 6.51 GHz, 6.65 GHz and 7.05 GHz, 7.59 GHz and 8 GHz (Fig3.a). Besides this composite material showed a shielding effect value less than -20 dB in the frequency band between 0 GHz and 0.61 GHz. When powder content is equal with aniline, the epoxy-(PANI / wollastonite-colemanite) compositions (wollastonite: colemanite (50-50 wt. %) /Aniline: 1/1) reach to -39.84 dB at 6.24 GHz (Fig3.b). Moreover, this composite material achieved a shielding effect of below -10 dB in the frequency band between 0 GHz and 0.69 GHz, 1.14 GHz and 1.36 GHz, 5.55 GHz and 6.47 GHz, 7.77 GHz and 8 GHz, respectively and this composite achieved a shielding effectiveness less than -20 dB in the frequency bands among 6.09 GHz and 6.39 GHz. The epoxy-(PANI/ wollastonite-colemanite) compositions (wollastonite: colemanite (75-25 wt.

%) /Aniline: 1/1) reach to a shielding effectiveness of -36.81 dB at 6.24 GHz (Fig3.c). Furthermore, it achieved a shielding effect less than -10 dB in the frequency bands between 0 and 0.36 GHz, 3.48 GHz and 4.29 GHz, 5.09 GHz and 6.51 GHz, 6.65 GHz and 7.06 GHz, 7.34 GHz and 8 GHz, respectively. Besides, this composite acquired a shielding effect less than -20 dB in the frequency band between 5.73 GHz and 6.3 GHz.

Impedance matching was achieved through the use of polyaniline. PANI has effected the shielding effectiveness. Additionally, PANI and composite components play a great role in the efficacy of the electromagnetic shielding material. The efficacy of microwave shielding often be attached to adapting the irradiation impedance to the surface of the material. PANI raises the matching impedance of connections between the composite supplementals. Meanwhile, due to the strength of the conductive polymer PANI between composite components, sharp peaks of shielding effectiveness occur.

New epoxy-(PANI/wollastonite-colemanite) compositions were fabricated, polyaniline based wollastonite-colemanite composites have a high shielding effect ratio for electromagnetic waves in a broadwidth range, Microwave shielding effect of new composites are adjusted by regulating the content of colemanite-wollastonite and PANI in this process. Researches indicate that the content of wollastonite: colemanite and PANI affect structure. Content of wollastonite-colemanite influenced permeability of material and add to the shielding effectiveness.

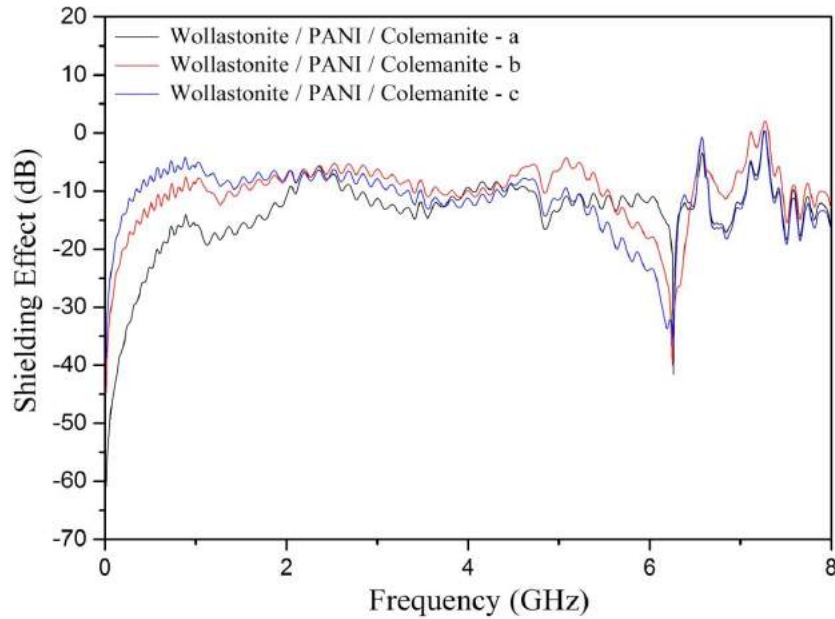


Figure 2. Microwave shielding effectiveness of the epoxy-(PANI/wollastonite-colemanite) composites: a) wollastonite-colemanite compositions (wollastonite-colemanite (25-75 wt. %) /Aniline: 1/1, b) wollastonite-colemanite compositions (wollastonite-colemanite (50-50 wt. %) /Aniline: 1/1 c) wollastonite-colemanite compositions (wollastonite-colemanite (75-25 wt. %) /Aniline: 1/1.

4. Conclusions and Recommendations

Wollastonite-colemanite powders (at 25-75 wt. %, 50-50 wt. % and 75-25 wt. %, respectively) were produced by using mixed oxide technique and PANI/ (wollastonite-colemanite) composites were obtained for the first time in research, to the best of our information.

The microwave shielding effectiveness characteristic was fabricated as 6.26 GHz and 1.5 mm in thickness with the minimal SE of -41.65 dB by the epoxy-(PANI/wollastonite-colemanite) compositions (wollastonite-colemanite (50-50 wt. %) /Aniline: 1/1).

Microwave shielding properties can be modulated easily by controlling the PANI content and the effect of wollastonite-colemanite content on the samples for the necessary frequency bands. Due to the simple and low cost preparation techniques and better shielding effectiveness performance, the PANI / wollastonite-colemanite composites have an encouraging potential as microwave shielding efficiency. Content of wollastonite-colemanite and Polyaniline were used to enhance the microwave shielding effectiveness.

Microwave shielding characteristics of PANI based wollastonite-colemanite composites indicate a strong variability with high concentrations of wollastonite-colemanite content. The best shielding effect value is obtained from epoxy-(wollastonite-colemanite (25-75 wt. %) /Aniline: 1/1) composition at the value of less than -10 dB and between 0 GHz and 2.01 GHz, 4.72 GHz and 6.51 GHz. This composite achieved a shielding effect less than -20 dB in the frequency band between 0 GHz and 0.61 GHz. The second shielding effect performances are obtained from epoxy- (wollastonite-colemanite (75-25 wt. %) /Aniline: 1/1) and epoxy-(wollastonite-colemanite (75-25 wt. %) /Aniline: 1/1) compositions at the value of less

than -10 dB and between 0 GHz and 0.69 GHz, 5.55 GHz and 6.47 GHz. This composite reached a shielding effect less than -20 dB in the frequency band between 5.73 GHz and 6.3 GHz.

The polyaniline content exhibits a respectable role in variation of the shielding effectiveness. The microwave shielding effect features of the PANI / wollastonite-colemanite compositions can be researched for a wider range of concentration in this analysis. As PANI content is equal to the total powder amount, and the wollastonite-colemanite powder amounts change among themselves, the shielding effect rises. Matching of impedance has been acquired by using PANI. PANI effect has been increased the shielding effectiveness. This study is evaluated compound of wollastonite and colemanite as a possible filling or replacement of polianilin for shielding materials. Literature on this topic is very limited. This style of composite has been produced for the first time for this purpose.

PANI based wollastonite-colemanite can be regarded as a candidate for microwave shielding effectiveness in a wideband frequency. The formation of wollastonite-colemanite compound content is a further field of research area. Wollastonite-colemanite and PANI content are being used in order to enhance the microwave shielding effect characteristics. The microwave shielding effectiveness and microwave reflection loss of PANI based wollastonite-colemanite in radar frequency and higher frequency ranges may be investigated.

4. Acknowledge

This research was funded by Marmara University and Istanbul Technical University. This work is attributed to Salim Sahin who died in 2014, and to Prof. Dr. Ayhan Mergen who died in 2017. The writers thank them and Hayrettin Simsek (Marmara University) for their friendship, advice and support.

References

- [1] Baker, Z. Q., Abelazeez, M.K., Zihlif, A.M., (1988). Measurements of the ‘Magnex DC’ Characteristics at Microwave Frequencies, *J. Mater. Sci.* 23:2995-3000.
- [2] Abbasi, H., Antunes, M., Velasco, J.L., (2019). Recent Advances in Carbon-Based Polymer Nanocomposites for Electromagnetic Interference Shielding, *Prog. Mater. Sci.* 103:319-373.
- [3] Tong, X.C., (2009). *Advanced Materials and Design for Electromagnetic Interference Shielding*, CRC Press Boca Raton FL USA.
- [4] Liu, J., Zhang, H.B., Sun, R., Liu, Y., Liu, Z., Zhou, A., Yu, Z.Z., (2017). Hydrophobic, Flexible, and Lightweight MXene Foams for High-Performance Electromagnetic-Interference Shielding, *Adv. Mater.* 29(38):1702367.
- [5] Kargar F., Barani, Z., Balinskiy, M., Magana, A.S., Lewis, J.S., Balandin, A., (2019). Dual-Functional Graphene Composites for Electromagnetic Shielding and Thermal Management, *Adv. Electron. Mater.* 5:1800558.
- [6] Jia, X., Shen, B., Chen, Z., Zhang, L., Zheng, W., (2019). High-Performance Carbonized Waste Corrugated Boards Reinforced with Epoxy Coating as Lightweight Structured Electromagnetic Shields, *ACS Sustainable Chem. Eng.* 7(22):18718-18725.
- [7] Chen, Z., Xu, C., Ma, C., Ren, W., Cheng, H-M., (2013). Lightweight and Flexible Graphene Foam Composites for High-Performance Electromagnetic Interference Shielding, *Adv. Mater.* 25(9):1296-1300.
- [8] Mondal, S., Das, P., Ganguly, S., Ravindren, R., Remanan, S., Bhawal, P., Das, T.K., Das, N.C., (2018). Thermal-air Ageing Treatment on Mechanical, Electrical, and Electromagnetic Interference Shielding Properties of Lightweight Carbon Nanotube Based Polymer Nanocomposites, *Compos. Part A* (107):447-460.
- [9] Mondal, S., Ganguly, S., Das, P., Khastgir, D., Das, N.C., (2017). Low Percolation Threshold and Electromagnetic Shielding Effectiveness of Nano-Structured Carbon Based Ethylene Methyl Acrylate Nanocomposites, *Compos. Part B Eng.* (119):41-56.
- [10] Chung, D.D.L., (2001). Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness of Carbon Materials, *Carbon* (39):279-285.
- [11] Xiangcheng, L., Chung D.D.L., (1999). Electromagnetic Interference Shielding Using Continuous Carbon-Fiber Carbon-Matrix and Polymer-Matrix Composites, *Compos. Part B* (30):227-231.
- [12] Bhingardive, V., Sharma, M., Suwas, S., Madras, G., Bose., S., (2015). Polyvinylidene Fluoride Based Lightweight and Corrosion Resistant Electromagnetic Shielding Materials, *RSC Adv.* (5):35909-35916.
- [13] Chaudhary, A., Kumari, Kumar, R., Teotia, S., Singh, B.P., Singh, A.P., Dhawan, S.K., Dhakate, S.R., (2016). Lightweight and Easily Foldable MCMB-MWCNTs Composite Paper With Exceptional Electromagnetic Interference Shielding, *ACS Appl. Mater. Interfaces* 8(16):10600-10608.
- [14] Yan, D.X., Pang, H., Li, B., Vajtai, R., Xu, L., Ren, P.G., Wang, J.H., Li, Z.M., (2014). Structured Reduced Graphene Oxide/Polymer Composites for Ultra-Efficient Electromagnetic Interference Shielding, *Adv. Funct. Mater.* 25(4):559-566.
- [15] Kim, M.S., Kim, H.K., Byun, S.W., Jeong, S.H., Hong, Y.K., Joo, J.S., Song, K.T., Kim, J.K., Lee, C.J., Lee, J.Y., (2002). PET Fabric/Polypropylene Composite with High Electrical Conductivity for EMI Shielding, *Synth. Met.* (126):233-239.
- [16] Wessling, B., (1998). Dispersion as The Link Between Basic Research and Commercial Applications of Conductive Polymers (Polyaniline), *Synth. Met.* 93(2):143-154.
- [17] Chen, Z., Yi, D., Shen, B., Zhang, L., Ma, X., Pang, Y., Liu, L., Wei, X., Zheng, W., (2018). Semi-Transparent Biomass-Derived Macroscopic Carbon Grids for Efficient and Tunable Electromagnetic Shielding, *Carbon* (139):271-278.
- [18] Tolvanen, J., Hannu, J., Hietala, M., Kordas, K., Jantunen, H., (2019). Biodegradable Multiphase Poly(lactic acid)/Biochar/Graphite Composites for Electromagnetic Interference Shielding, *Compos. Sci. Technol.* (181): 107704.
- [19] Sushmita, K., Menon, T.V., Sharma, S., Abhyankar, A.C., Madras, G., Bose, S., (2019). Mechanistic Insight Into the Nature of Dopants in Graphene Derivatives Influencing Electromagnetic Interference Shielding Properties in Hybrid Polymer Nanocomposites, *J. Phys. Chem. C* 123(4):2579-2590.
- [20] Mishra, S., Katti, P., Kumar, S., Bose, S., (2019). Macroporous Epoxy-Carbon Fiber Structures with a Sacrificial 3D Printed Polymeric Mesh Suppresses Electromagnetic Radiation, *Chem. Eng. J.* 357:384-394.
- [21] Al-Saleh, M.H., (2015). Influence of Conductive Network Structure on the EMI Shielding and Electrical Percolation of Carbon Nanotube/Polymer Nanocomposites, *Synth. Met.* (205):78-84.
- [22] Zhang, Y., Fang, X.X., Wen, B.Y., (2015). Asymmetric Ni/PVC Films for High-Performance Electromagnetic Interference Shielding, *Chin. J. Polym. Sci.* 33(6):899-907.
- [23] Yin X., Jin, J., Chen, X., Rosenkranz, A., Luo, J., (2019). Ultra-Wear-Resistant MXene-Based Composite Coating Via in Situ Formed Nanostructured Tribofilm, *ACS Appl. Mater. Interfaces* 11(35):32569-32576.
- [24] Ghosh, S., Ganguly, S., Remanan, S., Das, N.C., (2019). Fabrication and Investigation of 3D Tuned PEG/PEDOT: PSS Treated Conductive and Durable Cotton Fabric for Superior Electrical Conductivity and Flexible Electromagnetic Interference Shielding, *Compos. Sci. Technol.* 181:107682.
- [25] Kumar, A., Kumar, V., Kumar, M., Awasthi, K., (2017). Synthesis and Characterization of Hybrid PANI/MWCNT Nanocomposites for EMI Application, *Polym. Compos.* 39(11):3858-3868.
- [26] Avadhanam, V., Thanasamy, D., Mathad, J.K., Tumuki, P., (2018). Single Walled Carbon Nano Tube – Polyaniline Core-Shell/Polyurethane Polymer Composite for Electromagnetic Interference Shielding, *Polym. Compos.* 39:4104-4114.
- [27] Ramoa, S., Barra, G.M.O., Merlini, C., Livi, S., Soares, B.G., Pegoretti, A., (2018). Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness and Microwave Absorption Properties of Thermoplastic Polyurethane/Montmorillonite-Polypyrrole Nanocomposites, *Polym. Adv. Technol.* 29:1377-1384.
- [28] Yang, C.C., Gung, Y.J., Hung, W.C., Ting, T.H., Wu, K.H., (2010). Infrared and Microwave Absorbing of BaTiO₃/Polyaniline and BaFe₁₂O₁₉/Polyaniline Composites, *Composites Science and Technology* 70:466-471.

- [29] Schnitzler, D.C., Meruvia, M.S., Hümmelgen, I., Aldo, J., Zarbin, G., (2003). Preparation and Characterization of Novel Hybrid Materials Formed from (Ti,Sn)O₂, Nanoparticles and Polyaniline Chemistry of Materials 15(24):4658-4665.
- [30] Ma, X., Zhang, X., Li, Y., Li, G., Wang, M., Chen, H., Mi, Y., (2006). Preparation of Nano-Structured Polyaniline Composite Film Via “Carbon Nanotubes Seeding” Approach and its Gas-Response Studies, Macromolecular Materials and Engineering 291(1):75-82.
- [31] Sahin, E.İ., Paker, S., Kartal, M., (2019). Microwave Absorbing Properties of Polyaniline- NiFe₂O₄:V Composites, J. Chem. Soc. Pak. 41:246-256.
- [32] Chakradhar, R.P.S., Nagabhushana, B.M., Chandrappa, G.T., Ramesh, K.P., Rao, J.L., (2006). Solution Combustion Derived Nanocrystalline Macroporous Wollastonite Ceramics, Mater. Chem. Phys. 95(1):169-175.
- [33] Maslennikova, G.N., Zhekisheva, S.Zh., and Konesheva, T.I., (1997). Wollastonite-Based Ceramic Materials, Glass and Ceramics 54: 126-128.
- [34] Adylov, G.T., Voronov, G.V., Gornostaeva, S.A., Kulagina, N.A., Mansurova, E.P., Rumi, M. Kh., (2002). Use of Wollastonite from the Koitashskoe Deposit in the Production of Ceramics and Refractory Materials, Refractories and Industrial Ceramics 43:11-12.
- [35] Abdul Karim, A.F., Ismail, H., (2018). The Effects of a Compatibiliser on Processing, Tensile Properties and Morphology of Polystyrene (PS)/Styrene-Butadiene Rubber (SBR)/Wollastonite Composites, Polymers and Polymer Composites 26(8-9):454-460.
- [36] El-nemr, K.F., Ali, M.A., Hassan, M.M., (2012). Waste Newsprint Fibers For The Reinforcement of Radiation-Cured (Styrene-Butadiene Rubber)- Based Composites. Part II Characterization and Thermal Properties, J. Vinyl Addit. Technol. 18(4):228-234.
- [37] Demir, F., (2010). Determination of Mass Attenuation Coefficients of Some Boron Ores at 59.54 keV by Using Scintillation Detector, Appl. Radiat. Isotopes 68:175-179.
- [38] Celik, M.S., Suner, F., (1995). A Thermodynamic Analysis of the Decrepitation Process, Thermochem. Acta 245:167-174.
- [39] Frost, Ray. L., Xi, Y., Scholz, R., Belotti, F. M., Filho, M.C., (2013). Infrared and Raman Spectroscopic Characterization of the Borate Mineral Colemanite-CaB₃O₄(OH)₃.H₂O- Implications for the Molecular Structure, J. Mol. Struct. 1037:23-28.
- [40] Costa, C.M., Ribelles, J.L.G., Mendez, S.L., Appetecchi, G.B., Scrosati, B., (2014). Poly (Vinylidene Fluoride)-Based, Co-Polymer Separator Electrolyte Membranes for Lithium-Ion Battery Systems, J. Power Sources 245:779-786.
- [41] Angulakshmi, N., Stephan, A.M., (2014). Electrospun Trilayer Polymeric Membranes as Separator for Lithium-Ion Batteries, Electrochim. Acta 127:167-172.
- [42] Şahin, E.İ., Emek, M., Ertug, B., Kartal, M., (2020). Electromagnetic Shielding Performances of Colemanite/PANI/SiO₂ Composites in Radar and Wider Frequency Ranges, Beykent Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi 13(1):34-42.
- [43] Soyaslan, D.D., (2019). Development of an Economical Box Setup for the Use of Electromagnetic Shielding Tests of Textile Composites, European Journal of Science and Technology 17:852-859.
- [44] Kaya, A.I., Kırbas, I., Ciftci, A., (2019). Investigation of Surface Hardness, Combustion Behavior and Electromagnetic Shielding Properties of Wood Composite Coated with Vermiculite-Doped Rigid Polyurethane, European Journal of Science and Technology 17:206-214.
- [45] Tariq, F., Shifa, M., Tariq, M., Hasan S.K. and Baloch, R.A., (2015). Hybrid Nanocomposite Material for EMI Shielding in Spacecrafts, Advanced Materials Research 1101:46-50.
- [46] Chung, D.D.L., (2000). Materials for Electromagnetic Interference Shielding, Journal of Materials Engineering and Performance 9:350-354.
- [47] Ting, T. H., Yu, R.P., Jau, Y.N., (2011). Synthesis and Microwave Absorption Characteristics of Polyaniline/NiZn Ferrite Composites in 2-40 GHz, Materials Chemistry and Physics 126:364-36.



Tatvan, Ahlat ve Adilcevaz Bölgelerinde Sahil Kumlarında Radon Aktivite Konsantrasyon Seviyelerinin Belirlenmesi

Şule Karatepe Çelik¹, Muhammed Fatih Kuluöztürk^{2*}, Mahmut Doğru³

¹ Bitlis Eren Üniversitesi, Hizan Meslek Yüksekokulu, Bitlis, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8125-2231)

² Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Bitlis, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8581-2179)

³ Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Elazığ, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0015-0629)

(İlk Geliş Tarihi 30 Ekim 2020 ve Kabul Tarihi 24 Aralık 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.818568)

ATIF/REFERENCE: Karatepe Çelik, Ş., Kuluöztürk, M. F. & Doğru, M. (2021). Tatvan, Ahlat ve Adilcevaz Bölgelerinde Sahil Kumlarında Radon Aktivite Konsantrasyon Seviyelerinin Belirlenmesi. *European Journal of Science and Technology*, (21), 90-94.

Öz

Radon gazı (²²²Rn), hem doğal radyoaktivitenin büyük çoğunluğunu teşkil etmesi hem de insan sağlığı açısından akciğer kanserinin ikinci en önemli sebebi olması nedeniyle doğal radyoaktivite çalışmalarında önemli bir parametredir. Bu çalışmada, Van Gölü kıyı şeridinde yer alan Tatvan, Ahlat ve Adilcevaz beldelerinin sahil kumlarındaki radon gazı aktivite konsantrasyon seviyeleri belirlenmiştir. Nemrut ve Süphan sönmüş volkanlarının etkisiyle oluşan Van Gölünün sahil şeridinde önceden belirlenen 15 farklı noktadan sahil kumu örnekleri toplanmıştır. Toplanan örnekler kurutulup elendikten sonra CR-39 pasif katıhal iz detektörü (SSNTD – Solid State Nuclear Tracking Detector) ile birlikte bir kaba yerleştirilmiştir. 61 gün boyunca sahil kumlarından yayılan radon gazına maruz kalan detektörler çıkartılarak 4 buçuk saat boyunca 90°C'de 6,25 M NaOH çözeltisi içinde kimyasal kazıma işlemine tabi tutulmuştur. Kazınmış detektörlerde RadoSYS otomatik sayım sistemi kullanılarak radon gazına ait izler sayılmıştır. İz yoğunluğu cinsinden alınan sayım sonuçları kullanılarak radon konsantrasyon seviyeleri belirlenmiştir. En büyük ve en küçük konsantrasyon değerleri 459.42 ± 7.41 Bq.m⁻³ ve 105.34 ± 3.09 Bq.m⁻³ olarak sırasıyla ADCZ-6 ve TTVN-12 örnek noktalarında elde edilmiştir. Ortalama aktivite değeri ise 193,30 Bq.m⁻³ olarak belirlenmiştir. Bölgesel olarak değerlendirildiğinde en yüksek aktivite değeri Tatvan'da ortalama 240,96 Bq.m⁻³, sonrasında Ahlat'ta 209,57 Bq.m⁻³ ve en düşük olarak Adilcevaz'da 129,36 Bq.m⁻³ olarak belirlenmiştir. Elde edilen aktivite değerleri kullanılarak Kriging metoduyla kontur dağılım haritası elde edilmiştir. Ayrıca örnekleme alanlarının yıllık etkin doz değerleri belirlenmiştir. En büyük ve en küçük doz değerleri sırasıyla 11,57 mSv.y⁻¹ ve 2,65 mSv.y⁻¹ olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar, Türkiye ve dünyanın diğer ülkelerinde farklı bölgelerdeki sahil kumlarının radon gazı seviyeleri ve limit değerler ile mukayese edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Radon Gazı, Sahil Kumları, Van Gölü.

Determination of Radon Activity Concentration Levels of Beach Sands in Tatvan, Ahlat and Adilcevaz Regions

Abstract

Radon gas (²²²Rn) is an important parameter in natural radioactivity studies because it constitutes the majority of natural radioactivity and is the second most important cause of lung cancer in terms of human health. In this study, radon gas activity concentration levels were determined in beach sands of Tatvan, Ahlat and Adilcevaz regions which are on the shore of Lake Van. Beach sand samples were collected from 15 predetermined locations on the coastline of Lake Van, which was formed by the effect of Nemrut and Süphan extinct volcanoes. After the collected samples were dried and sieved, they were placed in a container with the CR-39 passive solid-state track detector (SSNTD - Solid State Nuclear Tracking Detector). The detectors exposed to the radon gas emitted from the beach sands for 61 days were removed and subjected to chemical etching at 90 ° C in 6.25 M NaOH solution for 4 and a half hours. Radon gas traces were counted on the etched detectors using the RadoSYS automatic counting system. Radon concentration levels were determined using the counting results in terms of trace density. The maximum and the minimum values were obtained as 459.42 ± 7.41 Bq.m⁻³ and 105.34 ± 3.09 Bq.m⁻³ in the ADCZ-6 sample and TTVN-12 sample, respectively. The average activity value was determined as 193.30 Bq.m⁻³. When evaluated regionally, the highest activity value was determined as an average of 240.96 Bq.m⁻³ in Tatvan, then 209.57 Bq.m⁻³

* Sorumlu Yazar: mfkuluozturk@beu.edu.tr

in Ahlat and 129.36 Bq.m⁻³ in Adilcevaz. Using the activity values obtained, the contour distribution map was obtained by the Kriging method. Furthermore, annual effective dose values were determined for sand samples. The largest and smallest dose values were found to be 11.57 mSv.y⁻¹ and 2.65 mSv.y⁻¹, respectively. The obtained results were compared with limit values and radon gas levels of beach sands in the other different areas of Turkey and other countries.

Keywords: Radon Gas, Beach Sands, Lake Van.

1. Giriş

Radon gazı (²²²Rn), doğadaki üç temel radyoaktif bozunum zincirinin tek gaz ara ürünü olan radyoaktif bir soy gazdır. Bolluk oranına göre sırasıyla yarılanma ömrü 3,82 gün olan ²²²Rn (Radon) izotopu ²³⁸U bozunum zincirinin, yarılanma ömrü 55,6 saniye olan ²²⁰Rn (Thoron) izotopu ²³²Th bozunum zincirinin ve yarılanma ömrü 3,96 saniye olan ²¹⁹Rn (Actinon) izotopu ²³⁵U bozunum zincirinin üyesidir (Evans, R. D., 1968; Durrani, S. A. and İliç, R., 1997). Doğada en bol bulunan doğal radyoaktif bozunum zincirinin üyesi olması ve yarılanma süresinin diğer izotoplarına göre daha yüksek olmasından dolayı, radon gazı doğada daha yüksek konsantrasyonlarda bulunabilir ve radyoaktivite ölçümlerinde yaygın bir parametre olarak değerlendirilir.

Doğal radyoaktivitenin en büyük kısmını oluşturan radon gazı (yaklaşık %55), insan sağlığı açısından radyoaktivite çalışmaları için önemli bir parametredir. İnsan solunum sistemine girdikten sonra, radon gazı hızlı bir alfa ve beta bozunum reaksiyon süreci geçirerek 138,37 günlük yarılanma ömrüne sahip toksik ²¹⁰Po izotopuna dönüşür. Akciğer kanserinin sigaradan sonra en önemli ikinci nedeni olan radon gazı, bu şekilde dolaylı olarak kansere neden olabilmektedir (WHO, 2014).

Kapalı yaşam alanlarında radon gazının insan sağlığı açısından değerlendirilmesi konusunda birçok çalışma yapılmıştır. Örneğin; Çelebi vd. (2015) Türkiye konutlarında SSNTD (Katı Hal Nükleer İz Detektörü) kullanarak radon gazı ölçümleri yapmış ve 1 ile 1400 Bq.m⁻³ arasında değişen aritmetik ortalaması 81 Bq.m⁻³ olan değerler rapor etmişlerdir, Mihci vd. (2010) Sivas'ta mevsimlik iç ve dış radon konsantrasyonu ölçümleri yapmış ve iç ortam radon değerlerini yaz için 98 Bq.m⁻³, kış için 89 Bq.m⁻³ olarak bildirmişlerdir, Kuluöztürk vd. (2018) yapı malzemesine bağlı olarak Ahlat'ta iç mekan radon konsantrasyonu ölçümleri yapmış ve 259,86 Bq.m⁻³ aritmetik ortalama ile 10.01 ile 2031.06 Bq.m⁻³ arasında değişen değerler bildirmişlerdir, Kulalı vd. (2019) AlphaGuard aktif radon detektörü kullanarak bir üniversite kampüsündeki iç mekan radon gazı seviyelerini ölçmüş ve 7 ile 177 Bq.m⁻³ arasında değişen değerler bildirmişlerdir. Buna ek olarak radon gazıyla ilgili olarak bir çok dış mekan radyoaktivite çalışmaları da bulunmaktadır. Örneğin; Kulalı vd. (2017) AlphaGuard aktif radon detektörünü kullanarak meteorolojik parametrelerle ilişkili toprak gazı radonu üzerinde çalışmış ve 0.1 ila 160 kBq.m⁻³ arasında değişen değerler rapor etmişlerdir, Yalım vd. (2006) AlphaGuard aktif radon detektörü kullanarak radon anomalileri ile depremler arasındaki ilişkiyi araştırmak için kuyu suyu üzerinde çalışmışlar ve genliği 2,6 ile 3,9 M arasında değişen depremlerle 0,79 ile 0,98 arasında korelasyonlar bulmuşlardır, Al-Fifi vd. (2012) sahil toprağı örneklerinde SSNTD'leri kullanarak radon konsantrasyonu ölçümleri yapmış ve 49.11 ile 151.79 Bq.m⁻³ arasında değişen aritmetik ortalaması 88.18 Bq.m⁻³ olan değerler elde etmişlerdir.

Bu çalışmada, volkanik faaliyetler sonucu oluşan Van Gölü'nün Tatvan, Ahlat ve Adilcevaz kıyılarında kıyı kum örneklerinde radon gazı aktivite konsantrasyonu CR-39 pasif iz detektörleri kullanılarak belirlenmiştir. Aktivite değerleri

kullanılarak Kriging yöntemi ile kontur dağılım haritası elde edilmiştir. Aktivite değerlerine bağlı olarak yıllık efektif doz değerleri hesaplanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Örnek Toplama ve Hazırlama

Van Gölü, Türkiye'nin en büyük gölüdür ve sönmüş Nemrut ve Süphan yanardağlarının volkanik faaliyetlerinin sonucu olarak meydana gelmiştir. Sahillerdeki kıyı kumlarının oluşumları, Van Gölü kıyılarında sönmüş Süphan ve Nemrut volkanlarının etkisiyle değişiklik göstermektedir. Bu nedenle, kıyı şeridinde mineralojik çeşitlilik vardır, bunun sonucunda radon gazı aktivite seviyelerinin de değişmesi beklenmektedir.

Bu çalışmada, radon gazı aktivite düzeylerinin belirlenmesi amacıyla Van Gölü'nün Bitlis ili Tatvan, Ahlat ve Adilcevaz ilçeleri kıyılarından sahil kumları toplanmıştır (Şekil 1). Yüzeyin 5-10 cm altında 15 farklı noktadan sahil kumu örnekleri toplanmıştır. Toplanan sahil kumu örnekleri Bitlis Eren Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi Nükleer Fizik Laboratuvarı'na götürülerek, yaklaşık 110 ° C'de bir fırında kurutulmuş ve daha sonra 60 mesh'lik bir elekten elenmiştir. Elenen numuneler, hava geçirmez difüzyon kabına 10 mm x 10 mm boyutlarında CR-39 detektörle birlikte yerleştirilmiş ve kapak sıkıca kapatılarak 61 gün pozlama için bekletilmiştir.

Bu sürenin sonunda difüzyon kaplarından çıkarılan detektörler, slaytlar üzerine yerleştirilmiş (slayt başına 12 detektör) ve 4 buçuk saat boyunca 90°C'de 6,25 M NaOH çözeltisi içinde kimyasal kazıma işlemine tabi tutulmuştur. Kimyasal kazıma işleminden sonra detektörler saf su ile yıkanıp kurutulduktan sonra detektör yüzeyindeki izler RadoSYS otomatik sayma sistemi ile sayılmıştır. Kimyasal kazıma ve otomatik sayım, RadoBATH ve RadoSYS sistemleri kullanılarak yapılmıştır (RadoSYS, 2011).

2.1. Radon Gazı Aktivite Konsantrasyonlarının Belirlenmesi

RadoSYS sistemi ×40 büyütme optik mikroskopa sahiptir ve radon gazına ait izleri her bir detektör üzerinde 5,74 mm²'lik alanlara sahip 9 farklı noktada sayar. İstatistiksel hatayı azaltmak için her detektör 3 kez sayılmıştır. Üretici tarafından verilen detektör kalibrasyon katsayısını içeren aşağıdaki denklem-1, sonuçları RadoSYS sistemi tarafından verilen iz yoğunluğunu Bq.m⁻³'e dönüştürmek için kullanılır.

$$C_{Rn} \text{ (Bq.m}^{-3}\text{)} = 1000 \times TD \times CF / t \quad (1)$$

Bu denklemde C_{Rn}, TD, CF ve t sırasıyla radon aktivite konsantrasyonunu (Bq.m⁻³), iz yoğunluğunu (iz.mm⁻²), CR-39 detektörler için üretici firma tarafından verilen kalibrasyon çarpanını (44,47 h.kBq.[m³.(iz.mm⁻²)]⁻¹) ve maruz kalma süresini (h) temsil etmektedir (RadoSYS, 2011). Radon gazı aktivite konsantrasyonlarından yola çıkarak yıllık etkin doz değeri, denklem-2 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$D_{Rn} \text{ (mSv.y}^{-1}\text{)} = C_{Rn} \times F \times t \times DCF \quad (2)$$

Bu denklemde D_{Rn} , C_{Rn} , F , t ve DCF sırasıyla yıllık etkin dozu ($mSv.y^{-1}$), radon aktivite konsantrasyonunu ($Bq.m^{-3}$), radon ve bozunum ürünleri arasındaki denge faktörünü (0,4), ortalama yıllık harcanan zamanı ($7000 h.y^{-1}$) ve aktivite-doz dönüşüm katsayısını ($9 nSv.(Bq.h.m^{-3})^{-1}$) temsil etmektedir (UNSCEAR, 2000). Radon aktivite konsantrasyonu ve hesaplanan yıllık etkin

doz değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Aktivite değerleri için Kriging metodu kullanılarak kontur dağılım haritası hazırlanmıştır (Şekil 2).



Şekil 1. Radon gazı aktivite belirleme noktaları.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Elde edilen radon konsantrasyon değerleri ve yıllık etkin doz değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'deki sonuçlar incelendiği zaman aktivite değerlerinin 105,34 ile 459,42 $Bq.m^{-3}$ aralığında olduğu belirlenmiştir. Ayrıca ortalama değer 193,30 $Bq.m^{-3}$ olarak bulunmuştur. Yıllık etkin doz değerleri 2,65 ile 11,57 $mSv.y^{-1}$ arasında değişmektedir ve ortalama değeri ise 4,87 $mSv.y^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Numune alanına göre ortalama radon aktivite konsantrasyon değeri ve yıllık etkin doz değeri Tablo 2'de ayrıca verilmiştir.

Tablo 2'deki sonuçlar incelendiğinde, radon aktivite konsantrasyon değeri Tatvan'da ortalama 240,96 $Bq.m^{-3}$ ve yıllık doz değeri 6,07 $mSv.y^{-1}$ olarak elde edildiği görülmektedir. Ahlat'ta ortalama radon aktivite konsantrasyon değeri 209,57 $Bq.m^{-3}$ ve yıllık doz değeri 5,27 $mSv.y^{-1}$ olarak bulunmuştur. Adilceviz için radon konsantrasyon değeri ve yıllık doz oranı değeri 129,36 $Bq.m^{-3}$ ve 3,25 $mSv.y^{-1}$ olarak elde edilmiştir. Bu değerler göz önüne alındığında maksimum radon konsantrasyon değerinin Tatvan bölgesinden elde edildiği ve minimum değerinin ise Adilceviz bölgesinde olduğu belirlenmiştir. Ahlat bölgesindeki sonuçların ise Tatvan bölgesinde elde edilen sonuçlara yakın olduğu görülmektedir.

4. Sonuç

Bu çalışmada, Van Gölü kıyısında bulunan Tatvan, Ahlat ve Adilceviz bölgelerindeki sahil kumlarından toplanan numunelerin radon aktivite konsantrasyonu belirlenmiştir. Radon konsantrasyon değeri belirlenmesi için CR-39 pasif iz detektörü kullanılmıştır. Numuneler belirlenen konumlardan toplanmış ve numune hazırlama süreci ile analizler Bitlis Eren Üniversitesi Bilim ve Teknoloji ve Araştırma Merkezi Nükleer Fizik

laboratuvarında yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde radon gazı aktivite konsantrasyonunun ortalama değerinin 193,30 $Bq.m^{-3}$ olduğu görülmektedir. Bu değer, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu tarafından belirlenen izin verilen kapalı alan radon gazı aktivite konsantrasyonu 400 $Bq.m^{-3}$ değerinin altındadır (TAEK, 2000). Bu sınır değerinin sadece Tatvan ile Ahlat arasındaki iki noktada (TTVN-05 ve AHLT-07) aşıldığı görülmektedir. Aktivite konsantrasyon değerlerinin yüksek olduğu bu bölge, sönmüş Nemrut yanardağının yamaçlarında yer almaktadır. Kuluöztürk vd. (Kuluöztürk vd. 2018), Ahlat'taki evlerde CR-39 kullanarak radon gazı aktivite konsantrasyonunun ortalama aktivite değerini 259,86 $Bq.m^{-3}$ ve ortalama doz değeri 6,55 $mSv.y^{-1}$ olarak belirlemişlerdir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçların 2018 yılında elde edilen sonuçlarla uyumlu olduğu görülmüştür. Mevcut çalışmaya benzer şekilde, Al-Fifi vd. (Al-Fifi vd. 2012) CR-39 detektörleri kullanarak Jazan limanından alınan sahil kumlarında radon gazı aktivite konsantrasyonlarını belirlemiş ve aktivite değerlerinin ortalama 88,18 $Bq.m^{-3}$ ve 49,11 ile 151,79 $Bq.m^{-3}$ arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Bu değer, bu çalışmada elde edilen ortalama değerinin yaklaşık yarısına karşılık gelmektedir. Bu çalışma alanlarının jeolojik farklılıklarından kaynaklanmaktadır.

5. Teşekkür

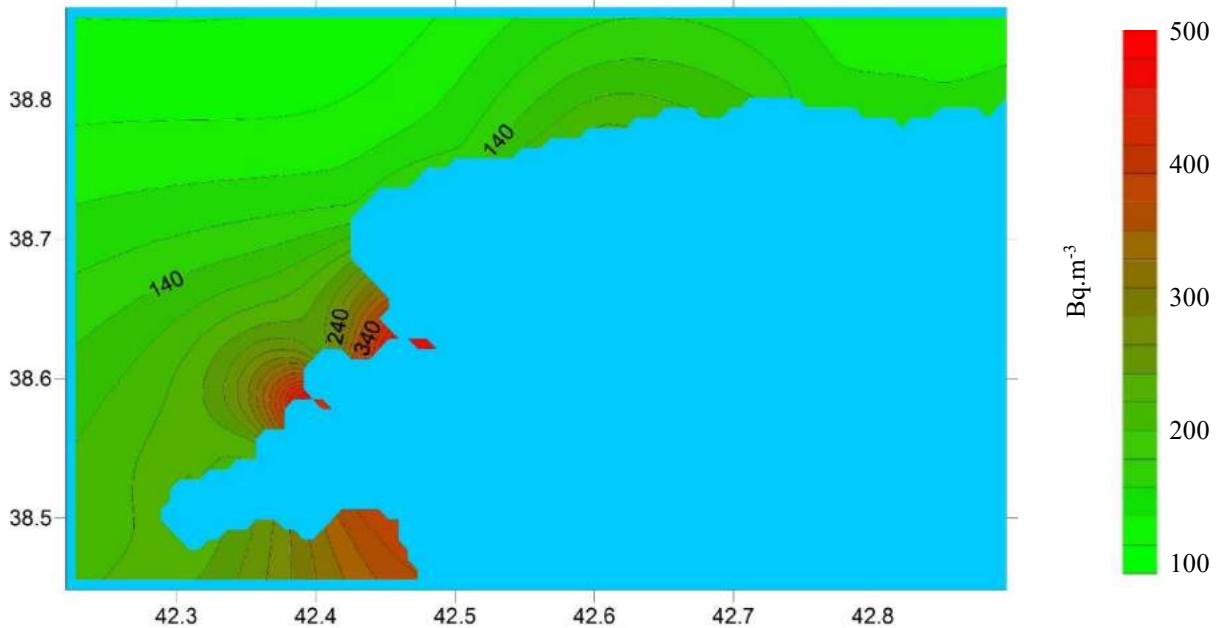
Bu çalışma, Bitlis Eren Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Destek Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje No: 2018.09).

Tablo 1. Radon aktivite konsantrasyon ve yıllık efektif doz oranı değerleri

Numune No	Enlem	Boylam	C_{Rn} (Bq.m ⁻³)	D_{Rn} (mSv.y ⁻¹)
TTVN-01	38,481397	42,307344	185,40 ± 0,60	4,67
TTVN-02	38,528620	42,313645	205,71 ± 0,61	5,18
TTVN-03	38,527748	42,316802	173,45 ± 1,54	4,37
TTVN-04	38,549531	42,356442	180,82 ± 8,02	4,55
TTVN-05	38,585319	42,389500	459,42 ± 7,41	11,57
AHLT-06	38,617119	42,404628	203,32 ± 0,30	5,12
AHLT-07	38,627794	42,457897	447,47 ± 4,94	11,27
AHLT-08	38,717861	42,430653	127,84 ± 4,63	3,22
AHLT-09	38,754756	42,510156	128,44 ± 6,17	3,23
AHLT-10	38,756142	42,518236	140,79 ± 2,16	3,54
ADCZ-11	38,780250	42,607869	182,61 ± 1,50	4,60
ADCZ-12	38,797731	42,736194	133,62 ± 8,95	3,36
ADCZ-13	38,794808	42,747939	105,34 ± 3,09	2,65
ADCZ-14	38,784856	42,842944	118,09 ± 0,61	2,97
ADCZ-15	38,787064	42,845142	107,14 ± 1,24	2,69
Min.			105,34	2,65
Mak.			459,42	11,57
Ort.			193,30	4,87

Tablo 2. Bölgesel radon gazı aktivite konsantrasyonu ve yıllık efektif doz oranı değerleri.

Çalışma Alanı	C_{Rn} (Bq.m ⁻³)		D_{Rn} (mSv.y ⁻¹)	
	Değişim Aralığı	Ortalama	Değişim Aralığı	Ortalama
Tatvan	180,82 – 459,42	240,96	4,37 – 11,57	6,07
Ahlat	127,84 – 447,47	209,57	3,22 – 11,27	5,27
Adilcevaz	105,34 – 182,61	129,36	2,65 – 4,60	3,25
TAEK		400		
Al-Fifi		88,18		
Kuluöztürk		259,86		



Şekil 2. Radon gazı aktivite konsantrasyonunun kontur haritası.

Kaynakça

- Durrani, S. A. and İliç, R., (1997). *Radon Measurements by Etched Track Detectors: Applications in Radiation Protection*. Earth Sciences and the Environment, World Scientific, New Jersey, U.S.A., 387p.
- Evans, R. D. (1968). *Engineers' Guide to The Elementary Behavior of Radon Daughters*. Health Physics, Vol. 38, pp. 1173-1197. DOI: 10.1097/00004032-196908000-00006.
- World Health Organisation (WHO) (2014). *World Cancer Report*. WHO Press.
- Çelebi N., Ataksor B., Taskın H. and Albayrak Bingoldag N. (2015). *Indoor radon measurements in Turkey dwellings*. Radiation Protection Dosimetry, vol. 167, no. 4, pp. 626–632. doi:10.1093/rpd/ncu329.
- Mihci M, Buyuksarac A, Aydemir A, Celebi N. (2010). *Indoor and outdoor Radon concentration measurements in Sivas, Turkey, in comparison with geological setting*. Journal of Environmental Radioactivity, 101:952–957. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2010.06.013>.
- Kuluöztürk M.F., Büyüksarac A., Özbey F., Yalçın S. and Doğru M. (2018). *Determination of indoor radon gas levels in some buildings constructed with Ahlat stone in Ahlat/Bitlis*. International Journal of Environmental Science and Technology, Volume 16, Issue 9, pp 5033–5038. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1692-0>.
- Kulalı F., Günay O. and Aközcan S. (2019). *Determination of indoor radon levels at campuses of Üsküdar and Okan Universities*. International Journal of Environmental Science and Technology (16) 5281–5284. <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02369-5>.
- Kulalı F., Akkurt I. and Özgür N. (2017). *The Effect of Meteorological Parameters on Radon Concentration in Soil Gas*. Acta Physica Polonica A, Vol. 132, No. 3-II, 999-1001. DOI: 10.12693/APhysPolA.132.999.
- Günay, O., Saç, M. M., İçhedef, M., Taşköprü, C. (2018). *Soil gas radon concentrations along the Ganos Fault (GF)*. Arabian Journal of Geosciences, 11(9), 213.
- Günay, O., Aközcan, S., Kulalı, F. (2018). *Bina İçi Radon Konsantrasyonlarının Belirlenmesi*. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (13), 91-97.
- Günay, O., Aközcan, S., & Kulalı, F. (2019). *Measurement of indoor radon concentration and annual effective dose estimation for a university campus in Istanbul*. Arabian Journal of Geosciences, 12(5), 171.
- Yalın H.A., Sandıkcıoğlu A., Ertuğrul O. and Yıldız A. (2012). *Determination of the relationship between radon anomalies and earthquakes in well waters on the Akşehir-Simav Fault System in Afyonkarahisar province, Turkey*. Journal of Environmental Radioactivity, 110, 7-12. DOI:10.1016/j.jenvrad.2012.01.015.
- Al-Fifi Z., El-Araby E.H., Elhaes H. (2012). *Monitoring of Radon Concentrations in Jazan Beach Soil*. Journal of Applied Sciences Research, 8(2): 823-827.
- RadoSYS (2011). *RadoSYS Radometer 2000 User Manual*. Hungary.
- UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) (2000). *Sources and Effects of Ionizing Radiations*. UN, New York.
- TAEK (Turkish Atomic Energy Authority) (2000). *Regulations for the radiation safety*. Official Journal, Date/Number: 24.03.2000 / 23999.



Amino Acid and Hormone Content of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Grown in Drought Stress Created by PEG6000

Adem Güneş¹, Ertan Yıldırım^{2*}, Metin Turan³, Recep Kotan⁴, Melek Ekinci⁵ Sanem Argın⁶

¹ Erciyes University, Faculty of Seyrani Agriculture, Department of Soil Science and Plant Nutrition, Kayseri, Turkey (ORCID: 0000-0003-0411-6134), ademgunes@erciyes.edu.tr

² Atatürk University, Faculty of Agriculture, Department of Horticulture, Erzurum, Turkey (ORCID: 0000-0003-3369-0645), ertanyil@atauni.edu.tr

³ Yeditepe University, Faculty of Engineering, Department of Genetics and Bioengineering, Istanbul, Turkey (ORCID: 0000-0002-4849-7680), m_turan25@hotmail.com

⁴ Atatürk University, Faculty of Agriculture, Department of Plant Protection, Erzurum, Turkey (ORCID: 0000-0001-6493-8936), rkotan@atauni.edu.tr

⁵ Atatürk University, Faculty of Agriculture, Department of Horticulture, Erzurum, Turkey (ORCID: 0000-0002-7604-3803), ekincim@atauni.edu.tr

⁶ Yeditepe University, School of Applied Sciences, Department of Agricultural Trade and Management, Istanbul, Turkey (ORCID: 0000-0002-2811-2202), sanem.argin@yeditepe.edu.tr

(First received 25 November 2020 and in final form 12 January 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.831176)

ATIF/REFERENCE: Adem, G., Yıldırım, E., Turan, M., Kotan, R., Ekinci, M. & Argın, S. (2021). Amino Acid and Hormone Content of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Grown in Drought Stress Created by PEG6000. *European Journal of Science and Technology*, (21), 95-112.

Abstract

In this study the bacterial strains had been isolated from the rhizosphere and phyllosphere of wild and traditionally cultivated plants growing in the Eastern Anatolia Region of Turkey. The present study used a total of 60 Plant Growth-Promoting Rhizobacterial (PGPR) strains belonging to 9 different genera (including *Pantoea*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Peanibacillus*, *Agrobacterium*, *Acinetobacter*, *Brevibacillus*, *Cellulomonas* and *Micrococcus* sp.), which are known to increase the tolerance to abiotic stress. The hormone and amino acid contents of PGPR were determined under drought stress by the addition of polyethylene glycol (PEG6000). Our results showed that, drought stress generally increased the amino acid and hormone contents of the bacteria. While significant increases in amino acid contents were found in *Pantoea agglomerans* (RK-92, KIN-99 and RK-205), *Bacillus megaterium* (TV-20E and TV-22B), *Bacillus subtilis* (BA-140 and TV-17C), *Pseudomonas fluorescens* (K-22B and FDG-37), *Bacillus pumilus* (TV-67C and TV-83A), *Brevibacillus brevis* (FD-1), *Micrococcus luteus* (TV-91B), *Peanibacillus polymyxa* (KIN-37), *Pseudomonas chlororaphis* (İK-38), *Pseudomonas putida* (BA-8); hormone contents were significantly increased in *Bacillus pumilus* RK-103, *Bacillus sphaericus* FD-48 and *Peanibacillus polymyxa* KIN-37. These findings suggest that, PGPR may be used to decrease the loss of yield in the drought stress by inducing the systemic tolerance of the plants.

Keywords: PGPR, Drought stress, Polyethylene glycol, Amino acid, Hormone

PEG 6000 Tarafından Oluşturulan Kuraklık Stresinde Büyüyen Bitki Büyümesini Teşvik Eden Rizobakterilerin Amino Asit ve Hormon İçeriği

Öz

Bu çalışmadaki bakteri suşları, Türkiye'nin Doğu Anadolu bölgesinde yetişen yabani ve geleneksel olarak yetiştirilen bitkilerin rizosferinden ve filloferinden izole edilmiştir. Bu çalışmada, abiyotik strese toleransı arttığı düşünülen 9 farklı cinse (*Pantoea*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Peanibacillus*, *Agrobacterium*, *Acinetobacter*, *Brevibacillus*, *Cellulomonas* and *Micrococcus* sp.) ait toplam 60 bitki büyümesini teşvik eden rhizobakterial (PGPR) suşu kullanılmıştır. Bu suşlar polietilen glikol (PEG6000) ile kuraklık stresine maruz bırakıldıktan sonra hormon ve amino asit içerikleri belirlendi. Genel olarak bakterilerin amino asit ve hormon içeriği kuraklık stresine maruz kaldığında artmıştır. Yüksek aminoasit ve hormon seviyesi koruma sağlar ve stres baskısına maruz kalmayı azaltır. Özellikle amino asit içeriğindeki artış *Pantoea agglomerans* (RK-92, KIN-99 and RK-205), *Bacillus megaterium* (TV-20E and TV-22B), *Bacillus subtilis* (BA-140 and TV-17C), *Pseudomonas fluorescens* (K-22B and FDG-37), *Bacillus pumilus* (TV-67C and TV-83A), *Brevibacillus brevis* (FD-1), *Micrococcus luteus* (TV-91B), *Peanibacillus polymyxa* (KIN-37), *Pseudomonas chlororaphis* (İK-38), *Pseudomonas putida* (BA-8) bakterilerinde, ve hormon içeriğindeki artış ise *Bacillus pumilus* RK-103, *Bacillus sphaericus* FD-

* Corresponding Author: Atatürk University, Faculty of Agriculture, Department of Horticulture, Erzurum, Turkey, ORCID: 0000-0003-3369-0645, ertanyil@atauni.edu.tr

48 and *Peanibacillus polymyxa* KIN-37 bakterilerinde gözlemlenmiştir. Çalışmadan, bu bakterilerin bitkinin sistemik toleransını artırarak kuraklık stresinde verim kaybını azaltmak için kullanılabileceği sonucuna varılabilir.

Anahtar Kelimeler: PGPR, Kuraklık stresi, Polietilen glikol, Amino asit, Hormon

1. Introduction

The lack of water is one of the main constraints on plant growth and crop yield in both humid areas and arid conditions. Drought stress causes limitation to the plant growth and productivity of agricultural crops. The decline of plant growth caused by water insufficiency is considered to be one of the most important ecological factors limiting plant survival and establishment (Henry and Le Hou'erou, 1996).

Plant tolerance to water stress depends on morphological adaptation as well as biochemical and genetic properties. Under water stress, sensitive plants suffer rapid irreversible cell damage due to decomposition of their membranes (Kloepper et al., 2004). In order to obtain the maximum yield and profit in agriculture, efficient utilization of water, is essential since irrigation water sources are becoming scarce due to climate change (Van Loon et al., 1998).

In recent years, plants are constantly exposed to a wide range of environmental stresses which limits the plant productivity during the last decade. Over several centuries, breeding programs have focused on generating crop species with enhanced productivity under suboptimal environmental conditions. Breeding for tolerance to abiotic stress factors in crops has usually been limited by the lack of reliable traits for selection. Multiple genes play role in concert to increase the stress tolerance (Murillo-Amador et al., 2006). Therefore, the developments of methods and strategies to ameliorate the deleterious effects of abiotic stress factors on plants have received significant attention.

Drought tolerance and water use efficiency of the plants growing in arid and semi-arid regions can be improved by inoculation of plants with beneficial plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) (Marulanda et al., 2007). PGPR, induced systemic tolerance (IST) has been proposed for physical and chemical changes in plants that result in enhanced tolerance to abiotic stress (Yang et al., 2009). Stress tolerance of plants increases by the presence of various beneficial soil microorganisms found in soil (Ryan et al., 2009). PGPR utilize the metabolites leaked from roots as C and N sources, thus can colonize the plant roots. Colonization of PGPR enhance the plant growth under stress conditions by producing ACC deaminase (Dey et al., 2004), generating plant growth regulators like indole acetic acid (IAA) (Mishra et al., 2010), gibberellic acid (Narula et al., 2006), cytokinins (Ortiz-Castro et al., 2008) and ethylene (Saleem et al., 2007). Moreover,, they fix asymbiotic nitrogen (Ardakani et al., 2010), help solubilization of mineral phosphates and other nutrients (Hayat et al., 2010), control plant disease caused by other bacteria and fungi producing antibiotics, enzymes and siderophores (Pathma et al., 2011). Investigations documented that inoculation with PGPR induces plant tolerance to drought stress (Khalid et al., 2004, Kohler et al., 2009). PGPR can amend the root structure, and promote plant development by increasing levels of phytohormones such as IAA, gibberellic acid and cytokinins (Kloepper et al., 2007). Swain et al. (2007) showed that

inoculation of *Bacillus subtilis* on *Dioscorea rotundata* L. improved the IAA production of the plant compared to non-inoculated plants.

Beneficial rhizobacteria can adapt to specific environmental conditions and develop tolerance to stressed environments (Samancioglu et al., 2016, Yıldırım et al., 2016, Erdogan et al., 2016, Ipek et al., 2017, Aras et al., 2018, Arıkan et al., 2018, Erdogan et al., 2018, Kitir, et al. 2018)... Therefore, investigation of the stress responsive mechanisms like accumulation of proline, sugars, EPS etc. under stress conditions may aid in selecting more stress tolerant microbial strains. PGPRs have been reported to have the potential for the amelioration of the deleterious effects of drought stress in crops (Mayak et al., 2004; Hayat et al., 2010). Investigating stress markers such as amino acids and/or phytohormone synthesis at PEG created drought in the axenic medium may aid in selecting the more stress-adapted tolerant strains (Marulanda et al., 2009).

Although the positive effects of PGPR on tolerance of the plants to the abiotic stress are known for a long time, exact mechanism of action is still unclear. The primary aim of the study was to explore the type and amount of the organic acid and hormone content odrought tolerant PGPR isolates from soils of different rhizosphere and phyllosphere of wild and traditionally cultivated plants growing in the Eastern Anatolia Region of Turkey.

2. Material and Method

2.1. Bacterial Strains

In this study, a total of 60 Plant Growth-Promoting Rhizobacterial (PGPR) strains belonging to 9 different genera (including *Pantoea*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Peanibacillus*, *Agrobacterium*, *Acinetobacter*, *Brevibacillus*, *Cellulomonas* and *Micrococcus*) and 15 different species (including *Pantoea agglomerans*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas putida*, *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus pumilus*, *Peanibacillus polymyxa*, *Agrobacterium rubi*, *Bacillus sphaericus*, *Pseudomonas chlororaphis*, *Acinetobacter radioresistens*, *Brevibacillus brevis*, *Brevibacillus choshiensis*, *Cellulomonas turbata* and *Micrococcus luteus* strains) were used (Table 1). The bacterial strains had been isolated from the rhizosphere and phyllosphere of wild and traditionally cultivated plants growing in the eastern Anatolia region of Turkey (Kotan et al., 2005; Kotan et al., 2009; Erman et al., 2010). All the bacterial strains have capacity to grow in nitrogen-free conditions and/or to solubilize phosphate that obtained from the culture collection unit in the Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture at Atatürk University, Erzurum, Turkey. The identity of the bacteria had been identified according to fatty acid methyl esters (FAME) analysis by using Sherlock Microbial Identification System (Microbial ID, Newark, DE, USA) (Miller, 1982). The bacteria were previously reported as plant growth promoting characteristic (Kantar et al., 2009; Cakmakcı et al., 2010; Karagoz et al., 2012; Tozlu et al., 2012) and potential bio-control agents against a wide range of bacterial and fungal pathogens that cause economically important crop losses in agriculture (Kotan et al., 2004; Kotan et al., 2005; Kotan and

Sahin, 2006; Kotan et al., 2009). Bacterial cultures were grown on Nutrient Agar (NA) for routine use, and maintained in Nutrient Broth (NB) with 15% glycerol at -80°C for long-term storage.

2.2. Hypersensitivity Tests (HR)

All of the bacterial strains were tested for hypersensitivity on tobacco plants (*Nicotina tabacum* L. var. Samsun) as described by Klement et al. (1964). The bacterial suspensions (10^8 cfu/ml) prepared in sterile distilled water were infiltrated into the inter costal area of the leaves of tobacco plants by using a 3-cc syringe (Becton Dickinson, Franklin Lakes, NJ, USA). The inoculated plants were incubated in a completely randomized design on the greenhouse bench for 24–48 h at 20–28 °C. The presence of rapid tissue necrosis at the inoculation site was recorded within 24–48 h after infiltration. This test was repeated at least three times for each strain. For HR tests sterilized distilled water (sdH₂O) was used as a negative control.

2.3. Bacterial Growth under Water Stress and Laboratory Experiment

The isolates that could grow at the drought stress of -0.73 MPa (25% PEG6000) were selected for plant growth promoting (PGP) properties like production of IAA (Gordon and Weber, 1951), Gibberallic acid (Sandhya et al., 2010), cytokinin (Barbara and Wong, 1989), bacterial cells accumulate small compatible solutes called osmolytes that include amino acids like glutamate, glutamine, proline, alanine etc, quarternary amines like glycine betaine and sugars like sucrose, trehalose and polyglucosyl granules that improve cell growth under adverse osmotic conditions serving as osmoprotectants (Potts, 1994), under no-stress and stress conditions. Bacteria exposed to drought stress applied to -0.73MPa PEG6000 but was not applied to optimum conditions grown in bacteria.

Frozen bacterial cultures were streaked on Nutrient Agar (NA, Oxoid) plates. The cultures were individually incubated at 27 °C for 24 h. After incubation period, a single colony was transferred to 1000-ml flasks containing Nutrient Broth (NB, Oxoid), and grown aerobically in the flasks on a rotating shaker (150 rpm) for 48 h at 27 °C (Merck, Germany) and diluted to a final concentration of 10^8 CFU.ml⁻¹ (colony forming units) using sterile distilled water containing 0.025% Tween 20. Sixty bacteria sample of each PGPR were used in the experiment to determine amino acid and hormone.

2.3.1. Amino Acid Analysis

0.1 N HCl added in one-gram fresh sample, homogenized with ultraturraks, and incubated in 4°C at 12 hours. Samples were vortexed. After samples were centrifuged at 1200 rpm for 50 min, supernatants were filtered through 0.22 µm (Millex Millipore). Then supernatants were transferred to vial and vials for amino acid analysis in HPLC as described by Aristoy and Toldra (1991), Antoine et al. (1999) and Henderson et al. (1999). Briefly, Zorbax Eclipse-AAA 4.6 x 150 mm, 3.5 µm columns (Agilent 1200 HPLC) were used and reading was recorded at 254 nm, and the amino acids were identified by comparison with

standards. O-phthalaldehyde (OPA), fluorenylmethylchloroformate (FMOC) and 0.4 N Borate. The following were used as the mobile phase in the chromatography system: mobile phase. A: 40 mM NaH₂PO₄ (pH 7.8) and mobile phase B: Acetonitrile/Methanol/Water (45/45/10 v/v/v) solutions. The flow rate of the mobile phase moved through the system at 2 ml/min and the column temperature was 40 °C. Aspartate, glutamate, asparagine, serine, glutamine, histidine, glycine, theonine, arginine, alanine, tyrocine, cystine, valin, methionine, tryptophan, phenylalanine, isoluecine, leucine, lysine, hydroxyproline, sarcosine, proline quantity of lichen samples determined as pmol/µL after 26 minutes derivation process in HPLC.

2.3.2. Hormone Analysis

Extraction and purification processes were executed as described by Kuraishi et al. (1991) and Battal and Tileklioglu (2001). methanole 80% adjusted to -40 °C was added in fresh samples (Davies, 1995). After solution was homojenized for 10 minutes with ultraturraks, it was incubated for 24 hours in dark condition. The samples were filtered through filter (Whatman No:1) and then supernatants were filtered again at 0.45 µm pore (Cutting, 1991). Supernatants were dried in 35 °C by evaporator pumps. Dried supernatants were solved using 0.1 M KH₂PO₄ (pH 8.0). Extracts were centrifuged at 5000 rpm for 1 hour at 4°C for separating fatty acids (Palni et al., 1983). Polvinilpolipirilidon (PVPP), 1 g, was added to supernatant for separating phenolic and color matters (Money and Staden, 1984; Chen, 1991; Qamaruddin, 1996). Supernatant with PVPP was filtered (Whatman No:1) to separate PVPP (Cheikh and Jones, 1994). For further specific separation, Sep-Pak C-18 (Waters) cartridge was used. Hormones adsorbed by cartridge transferred to vials using 80% methanole. The hormone was analyzed by HPLC using a Zorbax Eclipse-AAA C-18 column (Agilent 1200 HPLC) and absorbance of 265 nm in UV detector. Flow speed was set to 1.2 ml/min and at column temperature of 25 °C. Gibberallic acid, salisilic acid, indol acetic acid (IAA), abscisic acid (ABA) were determined by using 13% acetonitrile (pH 4.98) as mobile phase.

2.4. Statistically Analysis

Data were sorted by PGPR species and differences among species were attained using LSD (Least significant difference) test SAS statistical package program (SAS Inst., 1997). Differences were declared to be significant at P<0.05.

Table 1. Bacterial strains used in this study

No	Isolat no	Bacterial species	HR	No	Isolat no	Bacterial species	HR
1	TV-3D	<i>Bacillus megaterium</i>	—	31	FD-1	<i>Brevibacillus brevis</i>	—
2	TV- 6D	<i>Bacillus megaterium</i>	—	32	FD-48	<i>Bacillus sphaericus</i>	—
3	TV-6F	<i>Bacillus subtilis</i>	—	33	FD-49	<i>Bacillus sphaericus</i>	—
4	TV-11D	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	—	34	K-7E	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	—
5	TV-12E	<i>Bacillus subtilis</i>	—	35	K-9C	<i>Pseudomonas putida</i>	—
6	TV-12H	<i>Bacillus subtilis</i>	—	36	K-19B	<i>Pseudomonas putida</i>	—
7	TV-13B	<i>Bacillus subtilis</i>	—	37	K-19D	<i>Pseudomonas putida</i>	—
8	TV-13C	<i>Bacillus megaterium</i>	—	38	K-22B	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	—
9	TV-17C	<i>Bacillus subtilis</i>	—	39	KBA-2	<i>Peanibacillus polymyxa</i>	—
10	TV-20E	<i>Bacillus megaterium</i>	—	40	KBA-8	<i>Pantoea agglomerans</i>	—
11	TV-22B	<i>Bacillus megaterium</i>	—	41	KBA-10	<i>Bacillus megaterium</i>	—
12	TV-42A	<i>Pseudomonas putida</i>	—	42	KP-63	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	—
13	TV-53D	<i>Brevibacillus choshiensis</i>	—	43	KP-81	<i>Pseudomonas putida</i>	—
14	TV-54A	<i>Cellulomonas turbata</i>	—	44	KIN-21	<i>Peanibacillus polymyxa</i>	—
15	TV-60D	<i>Bacillus megaterium</i>	—	45	KIN-37	<i>Peanibacillus polymyxa</i>	—
16	TV-67C	<i>Bacillus pumilus</i>	—	46	KIN-99	<i>Pantoea agglomerans</i>	—
17	TV-83A	<i>Bacillus pumilus</i>	—	47	RK-77	<i>Pantoea agglomerans</i>	—
18	TV-87A	<i>Bacillus megaterium</i>	—	48	RK-79	<i>Pantoea agglomerans</i>	—
19	TV-91B	<i>Micrococcus luteus</i>	—	49	RK-84	<i>Pantoea agglomerans</i>	—
20	TV-91C	<i>Bacillus megaterium</i>	—	50	RK-85	<i>Pantoea agglomerans</i>	—
21	M-3	<i>Bacillus megaterium</i>	—	51	RK-92	<i>Pantoea agglomerans</i>	—
22	A-1	<i>Agrobacterium rubi</i>	—	52	RK-103	<i>Bacillus pumilus</i>	—
23	A-16	<i>Agrobacterium rubi</i>	—	53	RK-123	<i>Pantoea agglomerans</i>	—
24	A-18	<i>Agrobacterium rubi</i>	—	54	RK-126	<i>Pantoea agglomerans</i>	—
25	BA-140	<i>Bacillus subtilis</i>	—	55	RK-134	<i>Pantoea agglomerans</i>	—
26	BA-8	<i>Pseudomonas putida</i>	—	56	RK-142	<i>Bacillus subtilis</i>	—
27	İK-37	<i>Pseudomonas chlororaphis</i>	—	57	RK-153	<i>Pantoea agglomerans</i>	—
28	İK-38	<i>Pseudomonas chlororaphis</i>	—	58	RK-198	<i>Pantoea agglomerans</i>	—
29	İK-39	<i>Bacillus pumilus</i>	—	59	RK-205	<i>Pantoea agglomerans</i>	—
30	FDG-37	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	—	60	RK-344	<i>Acinetobacter radioresistens</i>	—

3. Results

The list of the bacterial strains used in this study and their hypersensitivity test results were given in Table 1. All the bacterial strains were hypersensitivity negative on tobacco plants.

3.1. Amino Acids Content of PGPRs

In this study, the drought tolerance capabilities of PGPR grown in non-stress conditions were investigated by exposing the bacteria to drought stress created by addition of PEG6000 to the growth medium. The hormone and amino acid contents of sixty different PGPRs are given in Tables 2, 3, 4 and 5. When

the PGPRs were exposed to drought-stress, amino acid content of BA-8, TV-20E, RK-92, BA-140, A-1, M-3, K-9C, RK-142, RK-79, K-22B, KIN-21, FD-49, TV-12E and A-18 bacterial strains significantly increased with respect to the non-stressed bacteria. Especially, this increase is more prominent in some amino acid values. Compared to non-stress and drought-stress conditions, the highest asparagine amino acid content was obtained from TV-20E, TV- 6D, A-1, TV-42A, RK-126, FD-48, TV-87A, A-18 and İK-39 bacterial strains; serine amino acid in TV-67C, TV-3D, İK-37, TV-83A, KBA-10, FD-49, TV-11D, A-18 and K-9C bacterial strains; glutamine amino acid in BA-140, A-1, KIN-37, FDG-37, KIN-99, K-19D, TV-67C, RK-85 and RK-92 bacterial strains; histidine amino acid in K-22B, K-9C, KBA-2, TV-91B, TV-17C, RK-84, KP-81, TV-6F and RK-85

bacterial strains; glycine amino acid in RK-92, RK-84, M-3, KIN-99, RK-142, RK-79, TV-12E, RK-123 and KBA-8 bacterial strains; theonine amino acid in BA-140, RK-126, KBA-2, RK-92, TV-20E, M-3, A-16 A-1, FDG-37 and TV-91B bacterial strains; alanine amino acid in FDG-37, TV-22B, BA-140, B13, İK-37, İK-38, TV-20E, M-3, A-18 and TV-83A bacterial strains; tyrocine amino acid in TV-83A, KIN-99, TV-17C, K-22B, TV-12E, TV-3D, TV-12H, KIN-21, FD-1 and RK-134 bacterial strains; cystine amino acid in TV-91B, K-19D, M-3, TV-6F, TV-60D, TV-91C, RK-92, FD-49, İK-39 and RK-84 bacterial strains; valin amino acid in TV-20E, A-1, M-3, RK-79, RK-92, TV-12H, KIN-99, KBA-2, TV-17C and TV-67C bacterial strains; phenylalanine amino acid in BA-8, FD-48, TV-17C, TV-12E, RK-142, TV-11D, RK-79, KIN-21, K-7E and RK-205 bacterial strains; aspartate amino acid in BA-8, TV-17C, A-1, KP-81, İK-38, KIN-99, KBA-10, M-3, TV-53D and RK-198 bacterial strains; glutamate amino acid in RK-205, KBA-8, TV-54A, KIN-21, KP-81, TV-91C, RK-77, FD-49, TV-42A and RK-84 bacterial strains; prolin amino acid in RK-92, KBA-2, FDG-37, TV-67C, TV-53D, K-9C, İK-38, KIN-37, RK-84 and K-19B bacterial strains; tryptophan amino acid in TV-22B, KBA-10, TV-87A, RK-126, RK-142, RK-123, TV-54A, İK-38, TV-12E and RK-198 bacterial strains; isoleucine amino acid in KIN-37, BA-140, TV-54A, TV-22B, KP-81, RK-134, B42, RK-123, TV-91B and RK-153 bacterial strains; leucine amino acid in İK-38, KBA-2, TV-67C, RK-84, TV-53D, FDG-37, TV-87A, TV-17C, FD-49 and TV-20E bacterial strains; hydroxyproline amino acid in FD-1, RK-123, BA-140, 19, TV-17C, TV-60D, K-19B, KBA-10, RK-77 and TV-91C bacterial strains; sarcosine amino acid in TV-17C, BA-8, TV-12E, K-22B, TV-11D, RK-79, A-16, RK-153, RK-85 and M-3 bacterial strains; methionine amino acid in BA-8, KIN-99, TV-12H, RK-79, TV-53D, A-1, K-22B, KBA-8, TV-12E and KBA-2 bacterial strains; while the highest total amino acid content was obtained from KIN-99, K-22B, TV-17C and BA-8 bacterial strains.

3.2. Hormone Contents of PGPRs

Gibberellic acid, indoleacetic acid, salicylic acid and abscisic acid level changes of PGPR were examined under non-stress and drought stress conditions. The highest gibberellic acid contents of the bacteria were found in the RK-153, TV-22B, FD-1, KIN-99, TV-13C, KIN-21, KP-63, RK-92, K-19D and K-9C bacterial strains in drought stress condition, while the salicylic acid and indole acetic acid content in the bacterial strains of KIN-37, TV-22B, RK-153, RK-344, FD-1, TV-11D, TV-87A, K-9C, RK-92 and RK-153; in the bacterial strains of FD-48, TV-60D, TV-11D, KIN-21, RK-142, RK-126, K-7E, KP-63, KIN-99 and TV-42A, respectively (Table 6). Hormone contents of tested PGPR were found significantly higher under drought stress conditions compared to the control treatment.

4. Discussion

4.1. Effects of Stress Condition on Amino Acids Production of PGPRs

During the plant development stage, the direct action mechanism of PGPR on the tolerance of the plants to drought stress was reported to be the production of phytohormones such as IAA and cytokinins (Patten and Glick, 1996). As an indirect mechanism, bacterial cells increase the accumulation of small compatible solutes called osmolytes of the plants that include amino acids like glutamate, glutamine, proline, alanine etc,

quaternary amines like glycine betaine and sugars like sucrose, trehalose and polyglucosyl granules. These amino acids and osmolytes (like quaternary amines) were found to increase with the drought stress (Crowe and Crowe, 1992). Thus, they were reported to free the radicals protecting the integrity of the membranes and prevent the corruption of enzymes (Bohnert and Jensen, 1996). The studies highlight that the osmolytes diffuse in free radicals and chemical chaperones preventing the corruption of the membranes and proteins. Our study showed that drought stress (-0.73 Mpa) created with PEG6000 agar application increased the amino acid content of PGPR compared to optimum conditions. For example, tyrocine amino acid level was 506693 pmol/μL in TV-83A strain, histidine (21469 pmol/μL) in K-22B, sarcosine (20583 pmol/μL) in TV-17C, methionine (20330 pmol/μL) in BA-8, glutamate (19810 pmol/μL) in BA-140, tryptophan (18037 pmol/μL) in TV-22B, isoleucine (15,478 pmol/μL) in KIN-37, cysteine (13055 pmol/μL) in TV-91B, asparagine (9419 pmol/μL) in TV-20E, hydroxyproline (7039 pmol/μL) in FD-1, alanine (6751 pmol/μL) in FDG-37, phenylalanine (5891 pmol/μL) in BA-8, proline (5599 pmol/μL) in RK-92, valin (4567 pmol/μL) in TV-20E, serine (3239 pmol/μL) in TV-67C, glycine (1734 pmol/μL) in RK-92, glutamine (1553 pmol/μL) in RK-205, theonine (1544 pmol/μL) in BA-140, aspartate (1543 pmol/μL) in BA-8 and leucine (1222 pmol/μL) in İK-38 bacterial strains. An increase in the proline content associated with the stress tolerance mechanism has been reported with *Pseudomonas putida*, *Pseudomonas* sp. and *Bacillus megaterium*, which are known to increase the plant development in arid environmental conditions (Marulanda et al., 2009). PGPR provide resistance and tolerance to soil salinity resulted from drought stress. The extracellular polysaccharides produced by the plant during drought stress help formation of biofilms (Potts, 1994). Biofilm formation help increasing the accumulation of amino acids which in turn increase the stress tolerance of the plant. In this study, an increase in the amino acid content of PGPR under drought stress was observed in most cases compared to the control. The highest amino acid value was observed by KIN-99 bacterial strains which was higher than 100 pmol/μL.

In our study, proline content was found to have positive effects on drought stress tolerance mechanism. The highest proline value was observed by RK-92 bacterial strains. Sandhya et al. (2010) also showed that the free proline content increased in five *Pseudomonas* spp. strains under stressed conditions compared to the control.

Increase in the tryptophan content was reported to prevent the damage caused in the cell tissues under abiotic stress factors (Glick et al., 2007). Our results showed that there was a very significant increase in the tryptophan contents of some PGPR strains such as TV87-A, TV91B, İK-38, KBA-10, KP-63, RK-103, RK-123, RK-126, RK-153 under stress conditions compared to control. These results are also in accordance with the study of Sandhya et al. (2010), where they showed increased amounts of tryptophan, free amino acids, sugars and exopolysaccharides under drought stress which played an important role in the stress tolerance of *Pseudomonas* spp.

4.2. The Effects of Stress Condition on Hormone Production of PGPRs

PGPRs direct effect can be found on plant growth facilitating by synthesizing plant hormones. PGPRs produce plant growth-promoting compounds such as auxins, cytokinins

and gibberellins (Saikia et al., 2006). When plants exposed to drought stress, they have a systemic effect tolerance mechanism of PGPR by means of applied abiotic stress which causes physical and chemical changes in the plant (Yang et al., 2009). These changes, especially increasing the drought stress phytohormone (IAA, GA, ABA) activity, constitute great importance (Glick, 1995). PGPR can improve the roots and promote plant development with the production of different phytohormones such as IAA (Kloepper et al., 2007). In addition, PGPRs can increase the plant growth by creating ways to signal such as salicylic acid, gibberellins and IAA hormones in plants. In response to roots, the bacteria synthesize indole acetic acid (IAA) and plant cells take up some of the IAA that is excreted by the bacteria. Along with the endogenous IAA produced by the plant, IAA synthesized by the bacteria affects plant cell proliferation (Glick et al., 2007). In our study, when PGPRs were grown in drought stress, the amount of the hormones was found to increase compared to the control.

In particular, when PGPRs were grown in drought stress; the highest indole acetic acid hormone of PGPRs was determined in FD-48 strains compared to the control. Similarly, Marulanda et al. (2009) reported an increase in the plant growth and IAA content in relation to the mechanism of the tolerance to stress in *Pseudomonas putida*, *Pseudomonas* sp. and *Bacillus megaterium* under drought conditions Sadeghi et al. (2012) and Cimrin et al., 2020 found that bacteria application reduced stress damage in line with releasing more IAA in drought stress conditions.

One of the changes occur in plants under drought stress, is the stomatal closure to reduce the water loss in leaves (Decoteau, 2000). Plants' internal cytokinin level reduces with the levels of increased ABA hormone. In our study, the highest ABA hormone was observed in TV-53D strain exposed to drought stress.. Especially under abiotic stress conditions such as drought stress, the tolerance mechanism generates oxidative stress protection (Reymond and Farmer, 1998). Salicylic acid (SA) plays a major role in the tolerance mechanism (Gray and Smith, 2005). The highest SA value (3752 ng/μl) was determined in KIN-37 strains under drought stress. Similarly, an increase in plant growth related to the production of SA was found using two isolated PGPRs (*P. fluorescens* Pf4 and P) (Saikia et al., 2006).

The results of the study showed that amino acid and hormone content of the investigated bacteria increased under drought stress. Amino acid increases in bacteria were observed in *Bacillus megaterium* TV-20E, *Bacillus pumilus* TV-67C, *Bacillus subtilis* BA-140, *Pseudomonas fluorescens* K-22B, *Pantoea agglomerans* RK-92, *Pseudomonas fluorescens* FDG-37, *Pantoea agglomerans* KIN-99, *Micrococcus luteus* TV-91B, *Pseudomonas putida* BA-8, *Pantoea agglomerans* RK-205, *Bacillus megaterium* TV-22B, *Peanibacillus polymyxa* KIN-37, *Pseudomonas chlororaphis* İK-38, *Brevibacillus brevis* FD-1, *Bacillus subtilis* TV-17C. Hormone content was found to increase in *Bacillus pumilus* RK-103, *Bacillus sphaericus* FD-48 and *Peanibacillus polymyxa* KIN-37.

5. Conclusions and Recommendations

Many studies showed positive effects of PGPRs on the quality of plants and the yield by improving the tolerance mechanism under different abiotic stress conditions including the drought stress without degradation of soil. However, to date, the exact relation between PGPR and the improved plant

tolerance has not been elucidated. In our study, a total of 60 PGPR strains belonging to 9 different genera and 15 different species were used to determine the effect of drought stress on the amino acid and hormone levels of PGPRs. The results showed that the hormone and amino acid contents of PGPR increased under drought stress which was induced by PEG6000. This finding suggests that increased stress tolerance of the plants may be resulting from the increase in the metabolite content of PGPR which induces the accumulation of these metabolites in the plant. In conclusion, the isolation and screening of indigenous PGPR traits based on their ability to increase their amino acid and hormone content under drought stress may be useful in the rapid selection of the efficient PGPR strains that could be used as bio-inoculants for plant production under abiotic stress.

References

- Antoine, F. R., Wei, C. I., Littell, R. C., & Marshall, M.R. (1999). HPLC method for analysis of free amino acids in fish using o-phthalaldehyde precolumn derivatization. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47, 5100-5107.
- Aras, S., Arıkan, Ş., İpek, M., Eşitken, A., Pırlak, L., Dönmez, M.F., & Turan, M. (2018). Plant growth promoting rhizobacteria enhanced leaf organic acids, FC-R activity and Fe nutrition of apple under lime soil conditions. *Acta Physiologiae Plantarum*, 40:120.
- Ardakani, S. S., Heydari, A., Tayebi, L., & Mohammadi, M. (2010). Promotion of cotton seedlings growth characteristics by development and use of new bioformulations. *International Journal of Botany*, 6(2), 95–100.
- Arıkan, S., Eşitken, A., İpek, M., Aras, S., Sahin, M., Pırlak, L., Dönmez, M.F., & Turan, M. (2018). Effect of plant growth promoting rhizobacteria on Fe acquisition in peach (*Prunus persica* L) under calcareous soil conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 41(17), 2141–2150
- Aristoy, M. C., & Toldra, F. (1991). Deproteinization techniques for HPLC amino acid analysis in fresh pork muscle and dry-cured ham. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 39, 1792-1795.
- Barbara, J. T., & Wong, T. Y. (1989). Cytokinins in *Azotobacter vinelandii* culture medium. *Applied and Environmental Microbiology*, 55, 266–267.
- Battal, P., & Tileklioğlu, B. (2001). The effects of different mineral nutrients on the levels of cytokinins in Maize (*Zea mays* L.). *Turkish Journal of Botany*, 25, 123-130.
- Bohnert, H. J., & Jensen, R. G. (1996). Strategies for engineering water stress tolerance in plants. *Trends in Biotechnology*, 14, 89-97.
- Çakmakçı, R., Erman, M., Kotan, R., Cıg, F., Karagoz, K. & Sezen, M. (2010). Growth promotion and yield enhancement of sugar beet and wheat by application of plant growth promoting rhizobacteria. *International Conference on Organic Agriculture in Scope of Environmental Problems*. 03-07 February 2010. Famagusta, Cyprus Island. pp. 198-202.
- Cheikh, N., & Jonmes, R. J. (1994). Disruption of maize kernel growth and development by heat stress. *Plant Physiology*, 106, 45-51.
- Chen, W.S. (1991). Changes in cytokinins before and during early flower bud differentiation in lychee (*Litchi chinensis* Sonn.). *Plant Physiology*, 96, 1203-1206.

- Cimrin, K.M., Başak, H., Turan, M. (2020). Farklı dozlarda tuz ve mikoriza uygulamalarının biberde hormon, antioksidan, fenolik ve organik asit içeriklerine etkisi. *MKU. Tar. Bil. Derg.* 25(3) : 488-498. DOI: 10.37908/mkutbd.793222
- Crowe, J. H., & Crowe, L. M. (1992). Membrane integrity in anhydrobiotic organisms: toward a mechanism for stabilizing dry cells. In G.N. Somero, C. B. Osmond, & C. L. Bolis (Eds.), *Water and life*, Springer, (1st ed., pp. 87–103). Berlin.
- Cutting, J. G. M. (1991). Determination of the cytokinin complement in healthy and witches broom malformed protease. *Journal of Plant Growth Regulation*, 10, 85-89.
- Davies, P.J. (1995). The plant hormones; their nature, occurrence and functions. In P.J. Davies (Ed.), *Plant Hormones* (pp. 1-39), Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Decoteau, D. R. (2000). *Vegetable Crops*. Upper Rever Company. New Jersey, USA.
- Dey, R., Pal, K. K., Bhatt, D. M., & Chaunhan, S. M. (2004). Growth Promotion and yield enhancement of peanut (*Arachis hypogaea* L.) by application of plant growth-promoting rhizobacteria. *Microbiological Research*, 159, 371–394.
- Erdogan, U., Cakmakci, R., Varmazyari, A., Turan, M., Erdogan, Y., & Kıtır, N. (2016). Role of inoculation with multi-trait rhizobacteria on strawberries under water deficit stress. *Zemdirbyste-Agriculture*, 103(1), 67-76.
- Erdogan, U., Turan, M., Ates F., Kotan, R., Çakmakçi, R., Erdogan Y., Kıtır, N., & Tüfenkçi, S. (2018). Effects of root plant growth promoting rhizobacteria inoculations on the growth and nutrient content of grapevine. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 49(14), 1731-1738.
- Erman, M., Kotan, R., Cakmakci, R., Cıg, F., Karagoz, F., & Sezen, M. (2010). Effect of nitrogen and phosphate solubilizing rhizobacteria isolat from Van Lake Basin on growth and quality properties in wheat and suger beet. *Turkish IV. Organic Agriculture Symposium*, pp. 325-329.
- Glick, B. R. (1995). The enhancement of plant growth by free-living bacteria. *Canadian journal of microbiology*, 41(2), 109-117.
- Glick, B. R., Todorovic, B., Czarny, J., Cheng, Z., Duan, J., & McConkey, B. (2007). Promotion of Plant Growth by Bacterial ACC Deaminase. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 26, 227–242.
- Gordon, S.A., & Weber, R.P. (1951). Colorimetric estimation of indole acetic acid. *Plant Physiology*, 26, 192–195.
- Gray, E. J., & Smith, D. L. (2005). Intracellular and extracellular PGPR: commonalities and distinctions in the plant–bacterium signaling processes. *Soil Biology and Biochemistry*, 37, 395–412.
- Hayat, R., Ali, S., Amara, U., Khalid, R., & Ahmed, I. (2010). Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion: a review. *Annals of Microbiology*, 60(4), 579–598.
- Henderson, J. W., Ricker, R. D., Bidlingmeyer, B. A., & Woodward, C. (1999). *Amino acid analysis using Zorbax Eclipse-AAA Columns and the Agilent 1200 HPLC*.
- Henry, N., & Hou'rou, L. (1996). Climate change, drought and desertification. *Journal of Arid Environments*, 34, 133–185.
- Ipek, M., Aras, S., Arıkan, S., Esitken, A., Pırlak, L., Donmez, M.F., & Turan, M. (2017). Root plant growth promoting rhizobacteria inoculations increase ferric chelate reductase (FC-R) activity and Fe nutrition in pear under calcareous soil conditions. *Scientia Horticulturae*, 219, 144-151.
- Kantar, F., Cakmakci, R., & Kotan, R. (2009). Bio-inoculant and bio-pesticide research and production in Turkey. *International Thematic Workshop on Bioinoculant/Biopesticide Production, Formulation and Application*, 20-22 October, 2009, Comstech, Islamabad, Pakistan. pp: 2.
- Karagoz, K., Ates, F., Karagoz, H., Kotan, R., & Cakmakci, R. (2012). Characterization of plant growth-promoting traits of bacteria isolated from the rhizosphere of grapevine grown in alkaline and acidic soils. *European Journal of Soil Biology*, 50, 144-150.
- Khalid A, M Arshad, ZA Zahir, 2004. Screening plant growthpromoting rhizobacteria for improving growth and yield of wheat. *Journal of Applied Microbiology*, 96(3), 473–480.
- Kitir, N. Gunes, A., Turan, M., Yildirim, E., Topcuoglu, B., Turker, M., Ozlu, E., Karaman M.R., & Firildak, G. (2018). Bio-boron fertilizer applications affect amino acid and organic acid content and physiological properties of strawberry plant. *Erwerbs-Obstbau*, 61(2), 129-137.
- Klement ZG, L Farkas, L Lovrekovich, 1964. Hypersensitive reaction induced by phytopathogenic bacteria in the tobacco leaf. *Phytopathology*, 54, 474-477.
- Kloepper, J. W., Ryu, C. M., & Zhang, S. A. (2004). Induced systemic resistance and promotion of plant growth by *Bacillus* spp. *Phytopathology*, 94, 1259-1266.
- Kloepper, J. W., Gutierrez-Estrada, A., & McInroy, J. A. (2007). Photoperiod regulates elicitation of growth promotion but not induced resistance by plant growth-promoting rhizobacteria. *Canadian Journal of Microbiology*, 53(2), 159–167.
- Kohler, J., Caravaca, F., & Rolda'n, A. (2009). Effect of drought on the stability of rhizosphere soil aggregates of *Lactuca sativa* grown in a degraded soil inoculated with PGPR and AM fungi. *Applied. Soil Ecology*, 42, 160–165.
- Kotan, R., Sahin, F., & Ala, A. (2004). Nutritional similarity in carbon source utilization of *Erwinia amylovora* and its potential biocontrol agents. *Journal of Turkish Phytopathology*, 33(1-3), 25-38.
- Kotan, R., Sahin, F., & Ala, A. (2005). Identification and pathogenicity of bacteria isolated from pome fruits trees in eastern Anatolia region of Turkey. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 113, 8–13.
- Kotan, R., & Sahin, F. (2006). Biological control of *Pseudomonas syringae* pv. *syringae* and nutritional similarity in carbon source utilization of pathogen and its potential biocontrol agents. *Journal of Turkish Phytopathology*, 35(1-3), 1-13.
- Kotan, R., Kant, C., Karagoz, K., Dadasoğlu, F., Cakmakci, R., Fayetorbay, D., Sahin, F., & Comaklı, B. (2009). Bazı Bakteri İnokülasyonlarının Kontrollü Şartlar Altında Yonca Bitkisinin (*Medicago sativa* L.) Büyümesi ve Kimyasal Kompozisyonu Üzerine Etkisi. 16. Ulusal Biyoteknoloji Kongresi, 13-16 Aralık 2009. Antalya. pp. 14.
- Kuraishi, S., Tasaki, K., Sakurai, N., & Sadatoku, K. (1991). Changes in levels of cytokinins in etiolated squash seedlings after illumination. *Plant and Cell Physiology*, 32, 585-591.
- Marulanda, A., Porcel, R., Barea, J. M., & Azco'n, R. (2007). Drought tolerance and antioxidant activities in lavender

- plants colonized by native rought-tolerant or drought-sensitive, *Microbial Ecology*, 54, 543–552.
- Marulanda, A., Barea, J. M. R., & Azco'n, R. (2009). Stimulation of plant growth and drought tolerance by native microorganisms (AM Fungi and Bacteria) from dry environments: mechanisms related to bacterial effectiveness. *Journal of Plant Growth Regulation*, 28, 115–124.
- Mayak, S., Tirosh, T., & Glick, B. R. (2004). Plant growth-promoting bacteria confer resistance in tomato plants to salt stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 42, 565–572.
- Miller, L. T. (1982). A single derivatization method for routine analysis of bacterial whole-cell fatty acid methyl esters, including hydroxy acids. *Journal of Clinical Microbiology*, 16, 584–586.
- Mishra, M., Kumar, U., Mishra, P. K., & Prakash, V. (2010). Efficiency of plant growth promoting rhizobacteria for the enhancement of *Cicer arietinum* L. growth and germination under salinity. *Advances in Biological Research*, 4(2), 92–96.
- Money, P. A., & Staden, J. V. (1984). Seasonal changes in the levels of endogenous cytokinins in *Sargassum heterophyllum* (Phaeophyceae). *Botanica Marina*, 17, 437–442.
- Murillo-Amador, B., Troyo, D. E., Garcia, H. J. L., Lopez, A. R., & Avila, N. Y. S. (2006). Effect of NaCl salinity in the genotypic variation of cowrea (*Vigna unguiculata*) during early vegetative growth. *Scientia Horticulturae*, 108, 432–431.
- Narula, N., Deubel, A., Gans, W., Behl, R. K., & Merbach, W. (2006). Paranodules and colonization of wheat roots by phytohormone producing bacteria in soil. *Plant, Soil and Environment*, 52(3), 119–129.
- Ortíz-Castro, R., Valencia-Cantero, E., & López-Bucio, J. (2008). Plant growth promotion by *Bacillus megaterium* involves cytokinin signaling. *Plant Signaling and Behavior*, 3, 263–265.
- Palni, L. M., Summons, R. E., & Letham, D. S. (1983). Mass spectrometric analysis of cytokin-ins in plant tissues: V. Identification of the cytokinin complex of *Datura innoxia* crown gall tissue. *Plant Physiology*, 72, 858–863.
- Pathma, J., Kennedy, R. K., & Sakthivel, N. (2011). Mechanisms of fluorescent pseudomonads that mediate biological control of phytopathogens and plant growth promotion of crop plants. In D. K. Maheshwari (Ed.), *Bacteria in agrobiolgy: plant growth responses* (pp. 77–105). Springer, Berlin.
- Patten, C., & Glick, B. R. (1996). Bacterial biosynthesis of indole-3-acetic acid. *Caadian Journal of Microbiology*, 42, 207–220.
- Potts, M. (1994). Desiccation tolerance of prokaryotes. *Microbiological Reviews*, 58, 755–805.
- Qamaruddin, M. (1996). Apperance of the zeatin riboside type of cytokinin in *Pinus sylvestris* seeds after red light treatment. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 6, 41–46.
- Reymond, P., & Farmer, E. E. (1998). Jasmonate and salicylate as global signals for defense gene expression. *Current Opinion in Plant Biology*, 5, 404–411.
- Ryan, P. R., Dessaux, Y., Thomashow, L. S., & Weller, D. M. (2009). Rhizosphere engineering and management for sustainable agriculture. *Plant Soil*, 321, 363–383.
- Sadeghi, A., Karimi, E., Dahaji, P. A., Javid, M. G., Dalvand, Y., & Askari, H. (2012). Plant growth promoting activity of an auxin and siderophore. *World Journal of Microbioogy and Biotechnology*, 28: 1503–1509.
- Saikia, R., Kumar, R., Arora, D. K., Gogoi, D. K., & Azad, P. (2006). *Pseudomonas aeruginosa* inducing rice resistance against *Rhizoctonia solani*: production of salicylic acid and peroxidases. *Folia Microbiologica*, 51, 375–380.
- Saleem, M., Arshad, M., Hussain, S., & Bhatti, A. S. (2007). Perspective of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) containing ACC deaminase in stress agriculture. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 34(10), 635–648.
- Samancıoğlu, A., Yildirim, E., Turan, M., Kotan, R., & Sahin, U. (2016). Amelioration of drought stress adverse effect and mediating biochemical content of cabbage seedlings by plant growth promoting rhizobacteria. *International Journal of Agriculture and Biology*, 18(5), 948–956.
- Sandhya, V., Ali, S. Z., Venkateswarlu, B., Reddy, G., & Grover, M. (2010). Effect of osmotic stress on plant growth promoting *Pseudomonas* spp. *Archives of Microbiology*, 192, 867–876.
- SAS. (1997). SAS/STAT software: changes and enhancements through release 6.12. SAS Institute, Cary, NC.
- Swain, M. R., Naskar, S. K., & Ray, R. C. (2007). Indole-3-acetic acid production and effect on sprouting of yam (*Dioscorea rotundata* L.) minisets by *Bacillus subtilis* isolated from culturable cowdung microflora. *Polish Journal of Microbiology*, 56, 103–110.
- Tozlu, E., Karagoz, K., Babagil, G. E., Dizikisa, T., & Kotan, R. (2012). Effect of some plant growth promoting bacteria on yield, yield components of dry bean (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Aras 98). *Journal of Agricultural Faculty Atatürk University*, 43, 101–106.
- Van Loon, L. C., Bakker, P. A. H. M., & Pieterse, C. M. J. (1998). Systemic resistance induced by rhizosphere bacteria. *Annual Review of Phytopathology*, 36, 453–83.
- Yang, J., Kloepper, J. W., & Ryu, C. M. (2009). Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress. *Trends Plant Science*, 14, 1–4.
- Yıldırım, E., Turan, M., Dursun, A., Ekinci, M., Kul, R., Karagöz, F.P., Dönmez, M.F., & Kıtır, N. (2016). Integrated use of nitrogen fertilization and microbial inoculation: change in the growth and chemical composition of white cabbage. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 47(19), 2245–2260.

Table 2. Amino acid content of PGPR (pmol/ μ L) (mean \pm standard error. n = 4 each treatment)

Isolates	Asparagine		Serine		Glutamine		Histidine		Glycine	
	NS	DS	NS	DS	NS	DS	NS	DS	NS	DS
TV-3D	7119.1 \pm 4	6129.0 \pm 5w	1129.1 \pm 2f	2989.0 \pm 8b	827.6 \pm 8h	282.0 \pm 2s	2014.1 \pm 6c	1875.0 \pm 5d	153.7 \pm 2a	242.5 \pm 8qr
TV- 6D	5473.0 \pm 3s	8990.0 \pm 4c	1339.3 \pm 3s	1430.0 \pm 5m	355.8 \pm 5k	616.0 \pm 3r	4566.3 \pm 7s	4013.0 \pm 3d	730.7 \pm 3j	290.8 \pm 5k
TV-6F	5140.0 \pm 2h	6448.3 \pm 3r	2030.0 \pm 2p	1868.3 \pm 4w	1348.0 \pm 4j	437.3 \pm 2a	3092.0 \pm 7m	7811.3 \pm 2p	279.2 \pm 2l	241.9 \pm 4qr
TV-11D	8264.3 \pm 2k	7130.6 \pm 8b	2650.0 \pm 5d	2320.6 \pm 3j	356.5 \pm 3k	81.2 \pm 5e	3424.0 \pm 8k	2976.6 \pm 4q	601.3 \pm 5o	202.1 \pm 3v
TV-12E	7340.0 \pm 3w	5152.0 \pm 4g	1560.0 \pm 2g	1662.0 \pm 8d	1217.0 \pm 8o	221.0 \pm 2x	2014.0 \pm 5c	2716.0 \pm 3s	496.5 \pm 2v	467.7 \pm 8w
TV-12H	5101.4 \pm 2f	5108.0 \pm 3j	1249.6 \pm 6z	1750.0 \pm 4b	317.1 \pm 4y	511.5 \pm 6w	2438.6 \pm 4e	4011 \pm 5d	504.1 \pm 6y	201.4 \pm 4v
TV-13B	6570.0 \pm 5n	5240.6 \pm 2b	767.0 \pm 7d	895.6 \pm 3t	1406.0 \pm 3f	97.1 \pm 7c	2219.0 \pm 3z	4232.6 \pm 6b	328.6 \pm 7f	77.4 \pm 3lk
TV-13C	5769.6 \pm 2i	5889.3 \pm 2d	763.6 \pm 7e	805.0 \pm 2a	937.1 \pm 2f	431.8 \pm 7c	2259.6 \pm 8x	2210.3 \pm 3a	801.0 \pm 7h	133.5 \pm 2c
TV-17C	5589.0 \pm 3n	6068.6 \pm 5x	1650.0 \pm 8e	1318.6 \pm 2u	270.2 \pm 2t	371.1 \pm 8j	12433 \pm 4h	9365.6 \pm 2j	567.3 \pm 8p	243.9 \pm 2qr
TV-20E	7352.0 \pm 8v	9419.0 \pm 2b	2577.6 \pm 5f	732.0 \pm 3h	445.5 \pm 3z	726.1 \pm 5m	1816.0 \pm 3e	970.3 \pm 1n	513.7 \pm 5s	134.8 \pm 3c
TV-22B	7340.0 \pm 4w	5129.6 \pm 6i	980.0 \pm 4m	1039.6 \pm 2j	1219.5 \pm 2no	165.1 \pm 4a	4433.0 \pm 2y	7044.6 \pm 5v	298.2 \pm 4j	187.2 \pm 2x
TV-42A	7682.3 \pm 3o	8790.0 \pm 7g	1782.3 \pm 3y	1340.3 \pm 5s	646.8 \pm 5q	306.8 \pm 3p	5229 \pm 2x	4013.3 \pm 3d	452.4 \pm 3z	201.6 \pm 5v
TV-53D	7139.67 \pm 4a	7350.0 \pm 7v	1119.6 \pm 8h	1450.0 \pm 2k	1116.6 \pm 2t	382.5 \pm 8h	7231.7 \pm 3u	1545.0 \pm 4j	895.7 \pm 8e	143.5 \pm 2b
TV-54A	8869.0 \pm 3g	5490.6 \pm 8r	1390.0 \pm 4o	898.6 \pm 6st	615.0 \pm 6r	257.1 \pm 4u	4588.4 \pm 2e	1783.4 \pm 8g	241.3 \pm 4r	76.2 \pm 6l
TV-60D	6430.3 \pm 2s	5470.0 \pm 5ts	1220.0 \pm 3b	1018.0 \pm 7k	948.8 \pm 7e	517.0 \pm 3v	2413.3 \pm 5w	5663.8 \pm 7h	302.5 \pm 3i	309.0 \pm 7h
TV-67C	5857.0 \pm 2a	7139.0 \pm 4a	1400.0 \pm 2n	3239.3 \pm 7a	662.3 \pm 7p	938.3 \pm 2f	6574.0 \pm 2r	5616.3 \pm 5j	456.9 \pm 2yx	1342.9 \pm 7d
TV-83A	8139.0 \pm 3l	5689.3 \pm 3j	1129.6 \pm 1f	2569.0 \pm 8g	1273.1 \pm 8m	615.3 \pm 1r	4532.6 \pm 3v	7230.3 \pm 6u	805.4 \pm 1g	165.2 \pm 8z
TV-87A	5469.6 \pm 2t	7690.0 \pm 8n	1349.6 \pm 5q	1560.0 \pm 5g	1114.6 \pm 5t	774.0 \pm 5k	4010.6 \pm 8d	3694.0 \pm 7f	298.2 \pm 5j	108.4 \pm 5fg
TV-91B	5659.6 \pm 5k	6749.0 \pm 4l	1399.0 \pm 2n	959.0 \pm 4o	953.6 \pm 4d	288.0 \pm 2r	5435.6 \pm 4m	11063.0 \pm 2i	508.4 \pm 2t	20.6 \pm 4q
TV-91C	6929.6 \pm 2f	5226.4 \pm 3c	1511.6 \pm 4i	1125.4 \pm 3g	511.6 \pm 3w	272.3 \pm 4t	6508.6 \pm 3a	555.3 \pm 4k	785.1 \pm 4i	187.2 \pm 3x
M-3	6030.0 \pm 3z	7239.3 \pm 2d	860.0 \pm 5w	890.0 \pm 8u	1217.5 \pm 8o	378.0 \pm 5i	14032.0 \pm 2f	564.0 \pm 2u	519.1 \pm 5r	802.2 \pm 8h
A-1	6539.6 \pm 8o	8969.0 \pm 2d	939.6 \pm 3p	1009.0 \pm 4l	1171.6 \pm 4q	1368.5 \pm 3h	3022.6 \pm 2n	875.0 \pm 3p	400.9 \pm 3c	20.8 \pm 4q
A-16	5659.6 \pm 4k	5208.0 \pm 3d	1119.6 \pm 2h	1168.0 \pm 3c	1273.1 \pm 3m	673.6 \pm 2o	2013.6 \pm 5c	711.6 \pm 2s	301.2 \pm 2ji	18.1 \pm 3q
A-18	7127.6 \pm 3b	7680.3 \pm 2o	1777.6 \pm 4z	2310.3 \pm 2k	375.6 \pm 2i	410.8 \pm 4f	11459 \pm 2w	2232.3 \pm 5y	398.9 \pm 4c	135.2 \pm 2c
BA-140	5946.0 \pm 3c	5256.0 \pm 5z	2072.9 \pm 3o	1340.3 \pm 2s	673.5 \pm 2o	1553.8 \pm 3d	6546.6 \pm 6n	913.3 \pm 2o	600.3 \pm 3o	196.3 \pm 2w
BA-8	6570.0 \pm 2n	5540.0 \pm 4p	1440.0 \pm 5l	1940.0 \pm 5q	938.0 \pm 5f	315.0 \pm 5n	8231.6 \pm 7w	3645.0 \pm 3h	445.6 \pm 5a	362.2 \pm 5e
İK-37	6712.5 \pm 1m	7210.0 \pm 3z	1270.7 \pm 6x	2670.0 \pm 2c	302.4 \pm 2q	433.5 \pm 6bc	4506.6 \pm 7k	6548 \pm 8z	365.0 \pm 6ed	262.8 \pm 2o

İK-38	6034.9±5y	5622.3±8l	1528.3±3h	1142.3±6d	1525.8±6e	217.3±3y	4461.3±8d	1812.3±4f	266.0±3mn	84.6±6j
İK-39	6129.0±2w	7672.0±4p	1229.0±2a	1306.5±7v	1076.0±7v	435.0±2ab	15733.0±3d	4549.0±3t	267.8±2mn	189.5±7x
FDG-37	4550.0±4n	7239.0±3y	1430.0±1m	809.0±7z	1007.5±7a	1066.0±1w	7765.0±2q	535.3±2v	567.4±1p	144.6±7b
FD-1	8900.0±5e	5504.6±2q	1780.6±5yz	1670.6±8c	255.0±8u	77.8±5f	7545±5o	6013.6±2c	723.7±5k	109.8±8fg
FD-48	8340.3±3h	7810.0±2m	1344.3±3r	1860.0±5x	671.3±5o	306.5±3p	1872.3±2d	1476.0±5k	318.2±3g	229.8±5t
FD-49	6751.0±2l	7669.6±5pq	1771.3±4a	2409.6±4i	457.8±4x	206.1±4z	9341.6±3j	4533.6±2v	243.7±4qr	133.8±4c
K-7E	6567.6±4n	7647.7±2r	1427.6±8m	1494.1±3j	454.1±3y	438.0±8a	4566.0±3l	5647.0±6i	801.8±8h	397.9±3c
K-9C	7440.3±3t	5399.0±6v	1009.2±7l	2309.6±8k	859.1±8g	616.1±7r	4544.3±2u	20609.6±7b	815.3±7f	113.1±8ed
K-19B	6508.9±4p	5881.0±7e	896.9±5st	1138.0±4e	1081.4±4u	246.0±5v	1233.9±3M	6869.0±7x	94.5±5i	31.4±4p
K-19D	7299.6±8x	5260.0±7y	1249.6±6y	1889.6±3v	1006.6±3a	977.6±6b	6012.6±2c	5999.8±8d	446.8±6a	444.9±3a
K-22B	6569.6±7n	5980.3±8b	749.6±7f	969.3±2n	1015.6±2z	416.8±7e	4314.6±5a	21469.3±3a	400.9±7c	101.6±2h
KBA-2	5869.6±5f	5489.0±5r	1119.6±2h	929.0±2q	824.6±2h	270.5±2t	2438.6±2V	16053.0±2c	243.2±2qr	100.5±2h
KBA-8	6869.0±6h	6569.0±4n	899.3±4s	2129.0±3m	769.3±3l	327.5±4l	4532.3±6v	2205.2±5b	277.9±4l	454.6±3yz
KBA-10	6770.3±7k	5277.6±3x	1240.0±5z	2418.6±2h	1138.5±2r	305.1±5pq	6013.3±7c	1245.6±2l	670.3±5l	237.8±2s
KP-63	5600.0±2m	6430.0±8s	1300.0±3w	1068.0±5i	1392.5±5g	455.5±3xy	5231.0±7n	7565.0±4r	501.5±3u	57.1±5o
KP-81	5458.2±4u	6331.0±4t	1860.5±2x	2111.0±2n	425.7±2d	523.0±2u	8967.6±8g	7814.0±3p	399.7±2c	133.4±2c
KIN-21	6130.6±5w	6870.6±3h	1900.6±4u	2240.6±3l	1284.1±3l	329.1±4l	4567.6±5s	4668.6±8p	407.8±4b	244.5±3q
KIN-37	6800.6±3j	7139.3±2u	1250.6±3y	786.3±8b	1645.6±8c	1354.0±3i	4018.6±4c	835.3±4q	80.1±3k	116.2±8d
KIN-99	7668.3±4q	6480.0±2q	1238.3±5z	1915.0±4s	936.3±4f	1045.5±5x	1756.8±3h	4598±3q	69.6±5m	723.1±4k
RK-77	6860.0±8i	5202.6±3e	1440.0±6l	740.6±3g	1131.0±3s	83.6±6de	2546.0±8t	5765.6±2f	92.9±6i	201.4±3v
RK-79	6888.0±7g	6179.3±2v	1448.0±3k	1619.3±2f	1919.5±2a	256.8±3u	5541.0±4l	3141.3±2l	630.1±3n	533.7±2q
RK-84	5880.0±5e	5089.0±2l	1780.0±2yz	862.0±2w	1222.5±2n	327.5±2l	4412.0±3z	8684.0±3n	447.1±2a	1500.0±2c
RK-85	7110.3±6d	6130.3±3w	1130.3±1f	1240.3±5z	1728.3±5b	782.3±1j	3015.3±2o	7314.3±2t	106.8±1g	256.6±5p
RK-92	5999.0±7a	5256.3±2l	856.0±5x	763.0±2e	966.5±2c	774.0±5k	1657.0±1i	746.0±5r	1911.1±5a	1734.0±2b
RK-103	9489.8±2a	4119.0±2p	1329.8±3t	969.1±6n	1334.3±6k	228.5±3w	1874.3±5r	5675.0±2g	83.2±3j	64.2±6n
RK-123	6289.3±4u	6979.0±3e	1909.3±4t	1039±7j	693.8±7n	272.5±4t	5007.3±2o	2483.0±3u	110.9±4ef	457.7±7x
RK-126	5837.0±5h	8319.3±2i	2586.4±2e	1929.3±7r	771.6±7kl	319.3±2m	7013.0±4z	1231.3±2m	722.7±2k	189.0±7x
RK-134	7558.0±2s	7401.3±5u	1328.0±3t	1781.3±8y	614.1±8r	457.3±3x	8952.0±5m	3012.3±5op	803.7±3hg	221.9±8u
RK-142	4558.0±3m	5561.0±2o	1118.0±2h	879.0±3v	1213.5±3p	83.0±2de	3010.0±3p	3550.0±2i	268.1±2m	635.8±3m
RK-153	8869.0±2f	8310.3±3j	2129.0±5m	849.3±2y	310.2±2o	547.0±5t	4002.4±2s	6102.3±6b	464.9±5w	57.4±2o
RK-198	5109.6±3j	5399.6±8w	928.6±2q	892.3±5u	553.1±5s	84.8±2d	4568.6±4s	656.3±7t	367.7±2d	110.2±5ef
RK-205	7129.6±2b	5870.3±4f	899.6±6s	771.1±2c	805.0±2i	393.3±6g	3674±3g	5913.3±7e	564.3±6p	265.0±2no
RK-344	5211.1±5d	4527.6±2o	1380.0±7p	910.6±3r	411.5±3f	158.1±7b	3542.7±5y	454.6±8w	268.0±7mn	203.8±3v

*: Numbers with the same letters in the same column are not statistically different ($p < 0.05$), NS: Non-stress conditions (control), DS: Drought stress conditions

Table 3. Amino acid content of PGPR (pmol/ μ L) (mean \pm standard error. n = 4 each treatment)

Isolates	Theonine		Alanine		Tyrocine		Cystine		Valin	
	NS	DS	NS	DS	NS	DS	NS	DS	NS	DS
TV-3D	428.7 \pm 6g	7.2 \pm 4yx	3332.2 \pm 5np	2094.8 \pm 2f	941.1 \pm 8o	9670.2 \pm 4h	619.5 \pm 1r	3903.4 \pm 4z	4953.3 \pm 2n	1178.9 \pm 8k
TV- 6D	95.6 \pm 7z	146.8 \pm 3qr	1710.4 \pm 2m	1469.4 \pm 6o	2574.1 \pm 5k	271.1 \pm 3p	4158.8 \pm t	2995.4 \pm 3x	841.1 \pm 3p	59.4 \pm 5m
TV-6F	1433.0 \pm 7c	107.5 \pm 2y	7990.5 \pm 6c	1857.6 \pm 7j	2449.2 \pm 4m	1843.0 \pm 2q	951.7 \pm 2j	6841.5 \pm 2f	3714.9 \pm 2w	795.2 \pm 4t
TV-11D	135.3 \pm 8tu	15.8 \pm 1v	907.3 \pm 7c	1397.1 \pm 7q	973.4 \pm 3m	353.9 \pm 1g	3449.80 \pm 4n	816.5 \pm 2p	108.3 \pm 5i	119.3 \pm 3g
TV-12E	461.2 \pm 5e	131.0 \pm 5v	4931.1 \pm 7w	670.6 \pm 8i	3395.3 \pm 8h	15156.1 \pm 5d	5795.1 \pm 5m	2307.3 \pm 3n	1883.7 \pm 2v	840.3 \pm 8p
TV-12H	61.2 \pm 4e	82.1 \pm 2b	1048.6 \pm 8mno	1778.2 \pm 3k	136.9 \pm 4f	9011.8 \pm 2j	3800.8 \pm 3j	3661.3 \pm 2h	1179.57 \pm 6a	2991.1 \pm 4c
TV-13B	1399.0 \pm 3d	42.9 \pm 4mn	6069.2 \pm 5h	586.1 \pm 2k	5298.7 \pm 3r	2211.2 \pm 4o	2744.8 \pm 2c	3713.6 \pm 5f	4043.4 \pm 7t	88.9 \pm 3j
TV-13C	1301.4 \pm 8f	41.5 \pm 5m-p	3886.1 \pm 4i	1127.1 \pm 5t	5918.5 \pm 4o	306.2 \pm 5m	2562.1 \pm 4q	2725.2 \pm 2e	3991.3 \pm 7u	149.4 \pm 2c
TV-17C	181.6 \pm 4o	62.3 \pm 3fg	899.3 \pm 3d	203.5 \pm 2n	14389.0 \pm 3e	258333.0 \pm 3	3351.1 \pm 3p	3457.8 \pm 6l	2649.6 \pm 8i	2299.8 \pm 2l
TV-20E	79.06 \pm 3cd	1024.0 \pm 2m	633.4 \pm 2j	5005.0 \pm 3t	3581.6 \pm 2e	391.8 \pm 2d	2251.7 \pm 2o	2138.1 \pm 7r	1894.6 \pm 5t	4567.4 \pm 3q
TV-22B	575.3 \pm 2z	41.2 \pm 4m-p	4123.0 \pm 4d	5964.4 \pm 2i	2967.3 \pm 4i	2142.2 \pm 4p	3351.1 \pm 2p	3087.5 \pm 7tu	4964.5 \pm 4m	127.3 \pm 2f
TV-42A	149.2 \pm 2q	41.3 \pm 3nop	4390.3 \pm b	2501.3 \pm 4d	1226.9 \pm 3f	1099.3 \pm 3j	2883.4 \pm 3z	2566.5 \pm 8i	799.2 \pm 3s	797.2 \pm 5ts
TV-53D	433.8 \pm 5f	40.9 \pm 5nop	4953.8 \pm 2v	5835.9 \pm 3l	855.3 \pm 2r	65.5 \pm 5n	5799.4 \pm 3l	2814.7 \pm 5b	14876.0 \pm 8g	1842.3 \pm 2x
TV-54A	44.4 \pm 2ml	47.2 \pm 6jkl	2076.7 \pm 1g	3010.4 \pm 5w	5133.9 \pm 1u	1759.7 \pm 6t	4040.6 \pm 2s	3817.0 \pm 4c	1141.6 \pm 4l	155.9 \pm 6a
TV-60D	317.5 \pm 6i	145.4 \pm 3rs	5359.2 \pm 5o	2590.7 \pm 6c	769.6 \pm 4s	1138.5 \pm 3h	1617.1 \pm 6y	5842.1 \pm 3j	3025.9 \pm 3z	1179.9 \pm 7k
TV-67C	63.6 \pm 7f	41.7 \pm 2 m-p	3334.2 \pm 2mno	6667.0 \pm 3j	1253.5 \pm 5d	281.1 \pm 2o	4040.6 \pm 7l	2560.8 \pm 8j	1514.8 \pm 2c	2266.9 \pm 7k
TV-83A	647.0 \pm 7x	34.6 \pm 1s	3328.4 \pm 4q	3965.4 \pm 2f	3398.7 \pm 3g	506693.0 \pm 1w	1108.8 \pm 7g	3350.4 \pm 4p	2459.5 \pm 1k	1862.3 \pm 8w
TV-87A	677.0 \pm 8w	13.9 \pm 5wv	6068.8 \pm 5h	1126.0 \pm 1e	7119.6 \pm 2n	1318.8 \pm 5z	2727.3 \pm 8ed	3346.4 \pm 3q	1117.4 \pm 5m	150.0 \pm 5cb
TV-91B	1133.5 \pm 5i	893.3 \pm 3r	4801.6 \pm 3x	1117.3 \pm 5u	5292.5 \pm 4s	370.3 \pm 3f	2927.7 \pm 3y	13055.0 \pm 2a	1510.7 \pm 2d	186.6 \pm 4y
TV-91C	132.5 \pm 4uv	223.7 \pm 4k	712.1 \pm 2h	2343.3 \pm 3e	1213.9 \pm 3g	1373.0 \pm 4x	3253.7 \pm 2r	4859.1 \pm 4n	1912.4 \pm 4s	1179.2 \pm 3k
M-3	1002.9 \pm 3n	1001.9 \pm 8n	5118.0 \pm 4s	4046.1 \pm 4e	5912.3 \pm 2p	435.0 \pm 8a	2201.8 \pm 5q	8407.3 \pm 3d	3987.2 \pm 5v	3490.4 \pm 8x
A-1	233.7 \pm 8j	984.9 \pm 7p	1209.2 \pm 3s	834.4 \pm 8y	2527.3 \pm 2l	256.4 \pm 7s	6744.5 \pm 2o	1658.1 \pm 2x	4570.9 \pm 3p	4134.8 \pm 4s
A-16	686.1 \pm 4v	998.8 \pm 5o	3332.1 \pm 2po	927.2 \pm 7b	886.7 \pm 5p	380.9 \pm 5e	3350.7 \pm 3p	830.5 \pm 2o	1179.5 \pm 2k	2189.4 \pm 3o
A-18	135.6 \pm 3t	4.41 \pm 6yz	1126.2 \pm 2t	3965.6 \pm 5f	8114.5 \pm 2k	1295.5 \pm 6b	2822.7 \pm 2a	2566.5 \pm 3i	1995.2 \pm 4q	1956.4 \pm 2r
BA-140	42.6 \pm 2mno	1544.9 \pm 7a	3950.4 \pm 5g	5888.9 \pm 6d	1050.9 \pm 6k	642.4 \pm 7u	1479.5 \pm 1d	1523.1 \pm 2a	1109.9 \pm 3n	2266.9 \pm 2m
BA-8	87.1 \pm 2a	88.4 \pm 2a	2928.7 \pm 2y	1400.1 \pm 7q	431.7 \pm 8a	2661.1 \pm 2j	2044.5 \pm 5t	2138.5 \pm 5r	2608.2 \pm 5j	1997.5 \pm 5q
İK-37	79.1 \pm 3cd	49.4 \pm 4ji	1761.7 \pm 6l	5278.6 \pm 7q	7417.9 \pm 5l	353.1 \pm 4g	4539.8 \pm 3q	3393.1 \pm 2o	2893.7 \pm 6f	1179.9 \pm 2k
İK-38	5.8 \pm 2a	25.7 \pm 5t	3332.2 \pm 7nop	5135.6 \pm 5r	1811.6 \pm 4s	367.3 \pm 5f	2883.4 \pm 4y	3090.2 \pm 6t	1892.3 \pm 3tu	75.8 \pm 6l
İK-39	890.0 \pm 5s	39.6 \pm 3pq	2927.0 \pm 7y	1781.0 \pm 6k	5062.2 \pm 3v	1234.4 \pm 3e	3453.5 \pm 8m	4082.0 \pm 7u	1834.4 \pm 2y	1844.3 \pm 7x
FDG-37	217.1 \pm 2l	979.8 \pm 2q	2500.2 \pm 8d	6751.3 \pm 7e	12112.5 \pm 8f	1128.1 \pm 2i	6744.5 \pm 7g	924.0 \pm 7k	1890.6 \pm 1u	1883.0 \pm 7v
FD-1	57.5 \pm 3h	40.1 \pm 4n-q	3900.0 \pm 5h	2879.0 \pm 2a	733.8 \pm 4t	5187.1 \pm 4t	3729.2 \pm 5e	3502.1 \pm 8j	797.6 \pm 5ts	218.7 \pm 8x
FD-48	142.9 \pm 8s	49.5 \pm 3ji	8461.0 \pm 4b	3622.9 \pm 4k	4733.8 \pm 3w	225.3 \pm 3v	3553.5 \pm 6i	836.1 \pm 5n	19582.5 \pm 3d	145.9 \pm 5d
FD-49	40.3 \pm 4n-q	20.0 \pm 5u	4412.7 \pm 2a	1780.1 \pm 2k	4287.4 \pm 4z	1216.4 \pm 5g	6224.1 \pm 7i	4296.6 \pm 4r	1084.6 \pm 4o	2152.4 \pm 4p
K-7E	125.2 \pm 3w	47.9 \pm 6ijk	672.1 \pm 3i	1369.4 \pm 3r	1334.4 \pm 3y	1310.9 \pm 6a	3085.5 \pm 2u	918.7 \pm 3l	1860.6 \pm 8w	1424.8 \pm 3i

K-9C	429.9±2g	4.0±3z	3818.9±8j	1637.7±2t	348.4±2h	266.5±3q	3920.1±4x	775.1±8q	15787.5±7f	129.0±8f
K-19B	76.8±2d	50.2±2i	3018.9±4v	2072.0±5h	347.4±4h	346.1±2h	2231.4±5p	2310.0±4n	24914.8±5b	140.0±4e
K-19D	740.3±5u	88.2±2a	3308.7±3s	3308.7±2s	988.7±3l	878.8±2q	1513.0±3b	10490.0±3c	19143.7±6e	727.6±3v
K-22B	461.4±2e	60.3±3gh	6089.3±2g	275.5±3m	3398.7±2g	21877.5±3c	4022.8±2w	1133.0±2f	4570.9±7p	1580.4±2a
KBA-2	59.7±6gh	1222.3±8g	2918.2±2z	1046.5±8w	397.4±1c	324.7±8k	2636.3±1g	851.8±6m	32709.1±2a	2607.2±2j
KBA-8	1321.0±7e	76.9±4d	4779.3±5y	1467.0±4o	1137.5±4h	252.6±4t	8294.8±5e	1692.9±3w	13002.3±4h	806.3±3r
KBA10	562.4±7b	76.6±3d	3090.4±8u	1210.4±3s	9490.9±5i	278.9±3o	6737.4±3h	2724.6±2e	1187.1±5j	60.0±2m
KP-63	362.9±8h	43.0±2mn	5118.0±5s	1041.7±2x	4286.1±3z	467.0±2y	2491.0±4m	2047.3±1t	8414.5±3k	1956.1±5r
KP-81	133.8±3tuv	46.1±2lk	329.1±4l	3336.3±2m	1670.5±2u	770.3±2s	3835.7±8b	2567.2±5i	1510.5±2d	1450.0±2h
KIN-21	1070.2±2j	37.8±5qr	5338.4±3p	3335.3±5mn	2447.1±4m	5597.7±5q	588.1±7s	3027.4±3w	8384.1±4l	797.6±3ts
KIN-37	465.8±5d	1480.3±2b	3311.9±2r	9252.5±2a	3666.6±3d	3679.9±2c	10697.8±5b	980.6±4i	1504.8±3e	2223.5±8n
KIN-99	85.7±2a	124.0±6w	4957.9±4u	1369.4±7r	402.6±2b	63946.1±6a	1807.8±6v	2570.9±8h	21167.5±5c	2753.1±4h
RK-77	740.6±3u	72.0±7e	3329.5±3pq	962.5±5z	2268.6±2n	245.5±7u	619.7±7r	2642.0±7f	2991.1±6c	108.3±3i
RK-79	568.0±a	169.3±7p	5875.9±2k	767.2±6f	4726.3±5x	138.9±7w	3866.1±2a	1508.0±5c	11548.6±3j	3045.6±2y
RK-84	494.0±2c	20.0±8u	4779.3±1y	1208.0±7s	1672.0±2u	320.0±8l	6222.8±4i	3909.4±6y	4250.4±2r	152.5±2b
RK-85	1031.8±3l	78.2±3d	4775.1±5z	2052.4±2i	1829.3±6r	334.2±3j	5804.8±5k	3031.8±3v	1890.9±1u	614.4±5w
RK-92	112.4±2x	1143.7±2h	6578.4±2f	1420.8±4p	4261.5±2a	1814.3±2s	2493.2±3m	4766.8±2o	11922.2±5i	3012.8±2b
RK-103	81.3±5cb	35.5±5sr	1778.1±4k	956.7±2a	340.0±4i	523.3±5v	4694.1±6p	1615.8±1y	4250.2±3r	114.2±6h
RK-123	980.1±2q	35.8±2s r	5830.5±5m	898.3±3d	7127.1±5m	354.6±2g	2730.0±3d	2034.1±5u	2842.1±4g	183.2±7z
RK-126	33.8±6s	1280.0±2w	2944.4±3x	3332.0±2nop	490.5±3x	1275.3±2c	2556.4±2k	3676.5±3g	1179.5±2k	810.0±7q
RK-134	569.7±7a	42.1±2m-p	4127.6±2c	3414.0±5l	4158.5±2b	4310.9±3y	2141.2±1r	3394.4±4o	2982.4±3e	1188.1±8j
RK-142	568.6±7a	197.2±3m	3307.0±4s	1074.8±2v	3412.7±4f	301.6±2n	2568.9±5ih	3493.1±8k	4627.9±2o	1563.8±3b
RK-153	143.2±8s	8.87±2x	1763.2±3l	1637.7±3n	5596.0±3q	382.6±5e	1000.1±3h	3553.5±7i	1492.8±5g	73.8±2l
RK-198	821.5±5t	596.0±5y	1398.3±2q	718.0±8g	392.9±2d	299.2±2n	3181.5±4s	3087.2±8tu	1565.9±2b	1883.0±5v
RK-205	1037.5±4k	39.7±2opq	5522.8±2n	1779.3±4k	10393.0±2g	262.5±3r	2203.9±2e	1541.9±7z	2987.3±6d	1501.0±2f
RK-344	77.92±3d	189.0±3n	3302.8±3t	2638.8±3b	1234.5±5e	441.9±8z	4040.6±3v	2126.7±5s	784.4±7u	1767.5±3z

*: Numbers with the same letters in the same column are not statistically different ($p < 0.05$), NS: Non-stress conditions (control), DS: Drought stress conditions

Table 4. Amino acid content of PGPR (pmol/ μ L) (mean \pm standard error. n = 4 each treatment)

Isolates	Phenylalanine		Aspartate		Glutamate		Prolin		Tryptophan	
	NS	DS	NS	DS	NS	DS	NS	DS	NS	DS
TV-3D	6198.0 \pm 7m	867.0 \pm 5j	714.0 \pm 1i	686.0 \pm 2	11399.0 \pm 2m	17199.0 \pm 2j	366.0 \pm 3az	577.0 \pm 4c	4056.0 \pm 0.4v	4893.6 \pm 1.0l
TV- 6D	3604.0 \pm 7k	226.0 \pm 4f	532.0 \pm 5f	505.0 \pm 4i	17129.0 \pm 5kl	15280.0 \pm 1k	487.0 \pm 5l	376.0 \pm 2y	1562.0 \pm 0.3m	12348.8 \pm 0.0p
TV-6F	8431.0 \pm 8f	659.0 \pm 2p	755.0 \pm 2fe	693.0 \pm 3m	15200.0 \pm 2l	17348.0 \pm 5i	486.0 \pm 2l	287.0 \pm 6ji	4450.5 \pm 0.0p	4202.4 \pm 0.8s
TV-11D	811.0 \pm 5l	1835.0 \pm 8t	980.0 \pm 4h	652.0 \pm 2sr	18870.0 \pm 6r	14000.0 \pm 2b	443.0 \pm 6r	403.0 \pm 7v	8645.2 \pm 0.0i	5534.5 \pm 0.6f
TV-12E	6828.0 \pm 4i	3203.0 \pm 3n	551.0 \pm 4c	736.0 \pm 2g	15300.0 \pm 7j	13802.0 \pm 4e	310.0 \pm 7d	369.0 \pm 7z	2282.0 \pm 0.5g	14656.6 \pm 1.0l
TV-12H	4884.0 \pm 3z	6659.0 \pm 2k	448.0 \pm 3n	650.0 \pm 5s	17800.0 \pm 7a	14500.0 \pm 4s	457.0 \pm 8q	204.0 \pm 8q	5526.0 \pm 6.0g	4894.6 \pm 0.0l
TV-13B	8485.0 \pm 2d	47.0 \pm 5t	899.0 \pm 2r	413.0 \pm 3o	14700.0 \pm 8o	14320.0 \pm 3w	257.0 \pm 5lk	546.0 \pm 3h	9462.0 \pm 0.5y	1503.7 \pm 0.6o
TV-13C	8755.0 \pm 4b	164.0 \pm 2k	1238.0 \pm 4c	733.0 \pm 4g	14399.0 \pm 5u	16399.0 \pm 2t	219.0 \pm 4m	140.0 \pm 2t	8601.0 \pm 0.3j	8974.8 \pm 0.6e
TV-17C	232.0 \pm 3e	4084.0 \pm 3h	724.0 \pm 3h	1248.0 \pm 3b	15640.0 \pm 4a	15328.0 \pm 4i	257.0 \pm 3lk	465.0 \pm 5p	14178.9 \pm 0.0m	8591.1 \pm 0.6k
TV-20E	485.0 \pm 2y	547.0 \pm 2V	705.0 \pm 2k	649.0 \pm 2s	19022.0 \pm 3p	14499.0 \pm 3s	456.0 \pm 2q	862.0 \pm 2s	19698.0 \pm 1.1c	2943.5 \pm 0.3d
TV-22B	3277.0 \pm 1m	904.0 \pm 4h	913.0 \pm 1q	912.0 \pm 1q	14000.0 \pm 8b	13999.0 \pm 2b	407.0 \pm 4u	575.0 \pm 3dc	4061.0 \pm 0.5u	18037.3 \pm 3.0d
TV-42A	549.0 \pm 5v	1150.0 \pm 3c	758.0 \pm 5e	865.0 \pm 5v	16002.0 \pm 4w	17760.0 \pm 1b	474.0 \pm 3on	390.0 \pm 2w	8317.0 \pm 1.4l	6860.3 \pm 0.8t
TV-53D	5326.0 \pm 2x	1134.0 \pm 5d	693.0 \pm 2m	952.0 \pm 2l	14549.0 \pm 3q	14000.0 \pm 5b	474.0 \pm 2n	1676.0 \pm 4e	2817.0 \pm 0.3f	4651.9 \pm 0.0o
TV-54A	965.0 \pm 4g	199.0 \pm 6h	558.0 \pm 7a	881.0 \pm 4t	16760.0 \pm 2o	19130.0 \pm 4m	559.0 \pm 1f	585.0 \pm 3b	4735.7 \pm 0.0n	16470.6.0 \pm 1.0j
TV-60D	3281.0 \pm 4l	255.0 \pm 3d	546.0 \pm 8d	802.0 \pm 2z	14000.0 \pm 1b	15604.0 \pm 5b	258.0 \pm 5k	545.0 \pm 5h	6994.5 \pm 0.3r	4329.7 \pm 0.0q
TV-67C	597.0 \pm 3u	79.0 \pm 2q	370.0 \pm 5s	812.0 \pm 5y	19080.0 \pm 5o	14129.0 \pm 3x	257.0 \pm 2lk	1732.0 \pm 6d	4186.0 \pm 1.4t	4807 \pm 0.6m
TV-83A	42012.0 \pm 2l	676.0 \pm 4o	734.0 \pm 4g	640.0 \pm 2tu	17659.0 \pm 2e	17599.0 \pm 2g	185.0 \pm 4s	515.0 \pm 3k	4918.0 \pm 0.3k	9570.0 \pm 0.6w
TV-87A	6197.0 \pm 4m	46.0 \pm 8t	545.0 \pm 2d	790.0 \pm 6a	16539.0 \pm 4r	15650.0 \pm 4z	218.0 \pm 4mn	851.0 \pm 2t	3673.0 \pm 0.3z	17559.4 \pm 0.5f
TV-91B	8476.0 \pm 3e	263.0 \pm 7c	634.0 \pm 3v	654.0 \pm 7qr	17879.0 \pm 1z	16299.0 \pm 3u	402.0 \pm 3v	424.0 \pm 1t	9451.5 \pm 0.8z	12140.0 \pm 0.5q
TV-91C	1744.0 \pm 2v	531.0 \pm 5w	513.0 \pm 8h	701.0 \pm 7l	19879.0 \pm 5e	18129.0 \pm 2v	382.0 \pm 2x	325.0 \pm 5c	9214.1 \pm 0.3b	1889.1 \pm 1.2h
M-3	4865.0 \pm 1a	80.0 \pm 6pq	612.0 \pm 4w	964.0 \pm 8j	19130.0 \pm 2m	15399.0 \pm 2h	634.0 \pm 4yx	555.0 \pm 3g	8592.7 \pm 0.5k	319.0 \pm 0.5z
A-1	5330.0 \pm 5w	27.0 \pm 7v	692.0 \pm 3m	1229.0 \pm 5d	14329.0 \pm 4v	15499.0 \pm 5f	312.0 \pm 3d	1046.0 \pm 5n	5571.4 \pm 0.3a	653.0 \pm 0.5w
A-16	7697.0 \pm 2h	317.0 \pm 7b	498.0 \pm 7j	710.0 \pm 4j	14499.0 \pm 4s	14678.0 \pm 2p	118.0 \pm 2v	602.0 \pm 8a	10176.0 \pm 0.3t	3673.3 \pm 0.6z
A-18	849.0 \pm 4k	617.0 \pm 5s	491.0 \pm 8k	513.0 \pm 2h	23197.0 \pm 3a	15000.0 \pm 6n	324.0 \pm 2c	545.0 \pm 7h	8771.5 \pm 1.0h	4326.4 \pm 2.0r
BA-140	975.0 \pm 6f	131.0 \pm 6m	723.0 \pm 5h	460.0 \pm 5l	17129.0 \pm 2kl	13990.0 \pm 1c	389.0 \pm 5w	1181.0 \pm 5l	5529.0 \pm 0.5g	557.0 \pm 0.3x
BA-8	865.0 \pm 7j	5891.0 \pm 7q	900.0 \pm 4r	1543.0 \pm 2a	21130.0 \pm 4c	16780.0 \pm 5n	218.0 \pm 2mn	565.0 \pm 6e	5354.2 \pm 0.0h	1615.2 \pm 0.0l
IK-37	511.0 \pm 6x	184.0 \pm 2i	642.0 \pm 3t	912.0 \pm 3q	18889.0 \pm 3q	15600.0 \pm 2c	481.0 \pm 6m	487.0 \pm 7l	1616.0 \pm 0.8y	8593.0 \pm 2.8k
IK-38	633.0 \pm 8r	682.0 \pm 4m	639.0 \pm 2u	996.0 \pm 2g	12398.0 \pm 2kl	17623.0 \pm 4f	329.0 \pm 7b	1591.0 \pm 7g	2965.0 \pm 1.2b	16394.0 \pm 1.0k
IK-39	4300.0 \pm 5	550.0 \pm 2v	938.0 \pm 4on	657.0 \pm 4pq	17039.0 \pm 1m	16402.0 \pm 6t	573.0 \pm 7d	1098.0 \pm 5m	9224.0 \pm 1.0a	5549.0 \pm 1.1c
FDG-37	6153.0 \pm 4o	214.0 \pm 3g	686.0 \pm 3n	754.0 \pm 3f	19900.0 \pm 5d	14069.0 \pm 7z	212.0 \pm 8p	1868.0 \pm 6c	1490.0 \pm 1.1p	1510.0 \pm 0.6n
FD-1	847.0 \pm 2k	482.0 \pm 2z	813.0 \pm 2y	877.0 \pm 5u	19900.0 \pm 2d	16300.0 \pm 7u	285.0 \pm 5j	387.0 \pm 7w	6644.7 \pm 0.6u	2961.6 \pm 2.0c
FD-48	7899.0 \pm 3g	5667.0 \pm 5t	924.0 \pm 8p	694.0 \pm 6M	14540.0 \pm 4r	11320.0 \pm 7n	289.0 \pm 4i	307.0 \pm 2e	2892.4 \pm 0.8e	1249.2 \pm 0.0r
FD-49	677.0 \pm 8no	1166.0 \pm 2b	953.0 \pm 5lk	936.0 \pm 3o	17901.0 \pm 6y	17999.0 \pm 7x	110.0 \pm 2w	1007.0 \pm 4p	14657.0 \pm 0.6l	3740.1 \pm 0.3y
K-7E	1829.0 \pm 4u	1246.0 \pm 3y	405.0 \pm 4p	725.0 \pm 2h	15537.0 \pm 7d	16500.0 \pm 8s	365.0 \pm 3a	297.0 \pm 2g	8819.4 \pm 1.0g	1208.7 \pm 0.0s

K-9C	3680.0±3i	106.0±8n	967.0±3i	599.0±1x	15505.0±7e	13699.0±5f	212.0±8p	1635.0±3f	5540.0±0.8e	1117.0±0.3u
K-19B	2551.0±2q	82.0±4p	691.0±8m	541.0±8e	12998.0±7i	15461.0±4g	135.0±4u	1267.0±2j	5545.0±0.7d	1173.4±0.5t
K-19D	6231.0±5l	414.0±3a	800.0±4z	453.0±4m	18765.0±7t	15693.0±3y	367.0±2az	487.0±5l	9450.3±0.8z	7334.3±0.8q
K-22B	5631.0±4u	1056.0±2e	1044.0±3f	375.0±3r	17599.0±8g	13800.0±2e	213.0±2po	205.0±2q	2971.0±0.3a	8935.6±0.3f
KBA-2	5830.0±3r	180.0±4j	544.0±4d	775.0±7c	13599.0±5g	13699.0±4f	488.0±2l	2221.0±3b	9460.7±0.3y	984.7±0.5v
KBA-8	5829.0±2r	905.0±5h	554.0±3b	562.0±8z	19849.0±4f	19139.0±3l	524.0±5j	204.0±8q	1474.3±0.6q	1753.3±1.0k
KBA-10	4816.0±4c	97.0±3o	802.0±2z	979.0±5h	16130.0±3v	17568.0±2h	387.0±8w	458.0±4q	1489.5.0±0.8p	17584.0±1.8e
KP-63	4503.0±3e	680.0±4mn	888.0±4s	566.0±4y	19572.0±2i	14100.0±1y	189.0±5r	367.0±3az	5565.0±1.15b	20356.9±0.0b
KP-81	601.0±2t	64.0±3r	966.0±3ji	1214.0±3e	19808.0±4g	18301.0±5u	613.0±4z	1008.0±2p	5533.5±1.0f	7945.6±0.5p
KIN-21	5161.0±1y	1322.0±2x	955.0±2k	766.0±2d	16000.0±3w	19111.0±2n	486.0±3l	685.0±2w	9165.0±0.6c	5534.0±1.2f
KIN-37	2636.0±5p	35.0±1u	811.0±1y	298.0±4u	17685.0±2c	12498.0±5j	305.0±2e	1566.0±5h	6957.0±0.3s	147.0±0.8b
KIN-99	6183.0±2n	8747.0±5c	504.0±4i	982.0±3h	15398.0±1h	15300.0±2j	632.0±4y	292.0±2h	7334.0±0.8q	9068.2±0.0d
RK-77	4203.0±4g	186.0±2i	659.0±5p	713.0±2ji	19880.0±5e	18090.0±3w	117.0±3v	809.0±7v	9529.4±0.5x	10164±0.6u
RK-79	4533.0±5d	1493.0±4w	523.0±3g	912.0±8q	17128.0±2l	13599.0±8g	203.0±2q	481.0±5m	5601.0±1.1z	8228.0±0.3m
RK-84	7699.0±3h	1205.0±6a	402.0±2q	704.0±5lk	19800.0±4h	17669.0±4d	302.0±1f	1533.0±6i	6596.0±0.5w	9744.3±2.0v
RK-85	5823.0±4s	601.0±7t	540.0±4e	779.0±4b	17130.0±5kl	14130.0±3x	433.0±5s	822.0±7u	1473.0±0.3q	5175.5±0.8j
RK-92	5600.0±3v	19.0±7.0±w	832.0±3x	713.0±3ji	15699.0±3x	12001.0±2l	544.0±2h	5599.0±2a	6602.0±0.5v	191.0±0.5a
RK-103	1899.0±2s	50.0±8s	939.0±2n	734.0±8g	14499.0±5s	16549.0±2q	255.0±7l	532.0±4i	1857.8.0±0.5j	20710.9±3.0a
RK-123	8888.0±1a	652.0±5q	833.0±2x	499.0±4j	18799.0±4s	15049.0±5m	285.0±5j	883.0±2r	4892.7±0.6l	16506.3±1.0i
RK-126	654.0±5q	679.0±4mn	754.0±5f	701.0±3l	16559.0±2p	13499.0±2h	471.0±3o	485.0±3l	3917.0±0.3x	16988.8±0.6g
RK-134	6046.0±2p	876.0±2i	363.0±2t	846.0±3w	14498.0±3s	17131.0±7k	216.0±2no	388.0±2w	3922.0±1.1w	12484.0±0.6o
RK-142	4830.0±4b	2832.0±8o	712.0±6ji	766.0±2d	19128.0±8m	14031.0±5a	382.0±4x	636.0±5x	7974.0±1.8o	16588.2±0.5g
RK-153	600.0±6t	138.0±3l	674.0±2o	512.0±8h	19129.0±4m	14400.0±6u	366.0±3az	910.0±2q	5817.0±0.5y	11469.5±0.3r
RK-198	3625.0±7j	184.0±2i	632.0±4v	948.0±5m	13599.0±3g	14459.0±7t	384.0±2x	1014.0±3o	7984.0±0.3n	13658.0±0.3n
RK-205	6751.0±7j	1238.0±5z	768.0±5d	411.0±4o	19299.0±2k	19810.0±2g	304.0±2fe	480.0±8m	6115.5±0.8x	471.0±0.3y
RK-344	658.0±8p	48.0±3ts	405.0±3p	694.0±3m	23140.0±3b	13897.0±5d	289.0±3i	1227.0±4k	5256.9±0.0i	1883.0±1.2i

*: Numbers with the same letters in the same column are not statistically different ($p < 0.05$), NS: Non-stress conditions (control), DS: Drought stress conditions

Table 5. Amino acid content of PGPR (pmol/ μ L) (mean \pm standard error. n = 4 each treatment)

Isolates	Isoleucine		Leucine		Hydroxyproline		Sarcosine		Methionine	
	NS	DS	NS	DS	NS	DS	NS	DS	NS	DS
TV-3D	4561.0 \pm 1u	10590.7 \pm 1r	452.0 \pm 8o	656.0 \pm 1w	4398.0 \pm 8y	2673.4 \pm 1b	6441.0 \pm 8n	6985.8 \pm 5e	10483.2 \pm 5g	1283.4 \pm 2i
TV- 6D	6377.9 \pm 5z	10745.5 \pm 3q	169.0 \pm 3s	201.0 \pm 4m	2442.0 \pm 3h	2589.2 \pm 6d	15488.0 \pm 3j	8874.8 \pm 4p	2522.5 \pm 2wx	1049.7 \pm 6m
TV-6F	6324.5 \pm 2b	9886.6 \pm 8u	564.0 \pm 6d	353.0 \pm 8w	4727.1 \pm 7x	1907.5 \pm 8s	6444.0 \pm 5m	6456.3 \pm 8l	8559.1 \pm 6q	1246.9 \pm 7j
TV-11D	4591.3 \pm 4t	2689.8 \pm 6o	173.0 \pm 0qr	171.0 \pm 6rs	1549.9 \pm 9a	3542.1 \pm 6j	14082.0 \pm 6p	14395.4 \pm 6n	1427.8 \pm 7e	1831.1 \pm 7o
TV-12E	4645.4 \pm 4r	6258.9 \pm 1e	345.0 \pm 7x	717.0 \pm 1t	5587.6 \pm 5u	1582.8 \pm 4y	12015.0 \pm 7y	15939.1 \pm 6h	5941.3 \pm 7f	2466.5 \pm 8z
TV-12H	7475.7 \pm 3s	8124.2 \pm 2m	188.0 \pm 1n	413.0 \pm 2t	3294.8 \pm 6po	1595.4 \pm 6x	13284.0 \pm 9q	6444.8 \pm 6m	2881.5 \pm 8c	7566.4 \pm 3v
TV-13B	6035.6 \pm 2f	8914.7 \pm 6a	205.0 \pm 7l	462.0 \pm 6n	7447.0 \pm 0.5j	3277.7 \pm 6r	9383.6 \pm 5o	12362.9 \pm 6u	8713.9 \pm 5p	1428.5 \pm 2e
TV-13C	6008.5 \pm 4g	10892.8 \pm 6o	212.0 \pm 3kj	365.0 \pm 6v	3295.6 \pm 3o	3443.2 \pm 6m	7978.8 \pm 3z	1101.7 \pm 6z	9484.6 \pm 4i	1718.9 \pm 5q
TV-17C	8690.5 \pm 3e	8113.0 \pm 6n	513.0 \pm 3i	883.0 \pm 6z	1899.2 \pm 0t	4263.5 \pm 6a	16512.0 \pm 8f	20583.8 \pm 7d	5251.8 \pm 3i	2391.5 \pm 2c
TV-20E	8094.2 \pm 2o	10225.0 \pm 3t	155.0 \pm 4v	845.0 \pm 3n	3419.1 \pm 4n	252.0 \pm 3t	11667.0 \pm 5d	9817.9 \pm 3l	2011.7 \pm 2i	1464.7 \pm 3b
TV-22B	3458.0 \pm 1h	12356.9 \pm 3e	564.0 \pm 7d	622.0 \pm 3z	3290.8 \pm 5q	2449.2 \pm 3g	9667.0 \pm 5m	3338.6 \pm 3s	8911.2 \pm 4o	1657.2 \pm 2t
TV-42A	7857.7 \pm 5p	4591.0 \pm 8t	789.0 \pm 2p	165.0 \pm 8t	553.0 \pm 2m	2371.5 \pm 8j	6757.1 \pm 2f	7984.7 \pm 8y	2010.4 \pm 3ji	2008.4 \pm 4j
TV-53D	8845.3 \pm 2b	9063.6 \pm 2z	911.0 \pm 3k	988.0 \pm 4i	6017.5 \pm 3r	1945.6 \pm 4q	10495.0 \pm 3k	5486.9 \pm 5z	8535.9 \pm 2r	3057.8 \pm 3q
TV-54A	8114.0 \pm 7n	12619.0 \pm 1d	540.0 \pm 2g	523.0 \pm 1h	1909.3 \pm 6s	179.0 \pm 1v	7984.0 \pm 0y	4667.0 \pm 1j	2189.0 \pm 1h	1511.6 \pm 5y
TV-60D	2551.7 \pm 8r	10896.0 \pm 0n	713.0 \pm 3u	435.0 \pm 8r	3512.1 \pm 3l	4219.3 \pm 0b	4958.0 \pm 3h	5223.1 \pm 8f	6572.4 \pm 5a	1681.1 \pm 6r
TV-67C	6390.6 \pm 5y	9367.0 \pm 6w	612.0 \pm 7a	1121.0 \pm 7d	1554.9 \pm 4z	2010.2 \pm 6o	6463.6 \pm 7j	5670.3 \pm 6x	1609.1 \pm 2v	2190.0 \pm 3h
TV-83A	3438.1 \pm 4i	2787.3 \pm 6n	412.0 \pm 3t	411.0 \pm 6t	3037.6 \pm 3u	362.0 \pm 6p	8708.5 \pm 3t	5575.9 \pm 6y	8167.6 \pm 4t	2008.8 \pm 2p
TV-87A	4933.4 \pm 2o	10807.9 \pm 7p	339.0 \pm 3y	884.0 \pm 7l	5687.4 \pm 3t	2064.2 \pm 7m	14344.0 \pm 3o	7579.0 \pm 5a	11967.1 \pm 5d	1734.3 \pm 1p
TV-91B	5231.3 \pm 3m	11260.6 \pm 7l	512.0 \pm 8i	207.0 \pm 7l	6554.4 \pm 8o	4359.9 \pm 7z	11739.0 \pm 8c	4859.1 \pm 7i	6540.8 \pm 3b	1736.5 \pm 5p
TV-91C	8225.0 \pm 8l	6379.4 \pm 4z	224.0 \pm 3i	543.0 \pm 8f	2856.4 \pm 3y	3551.1 \pm 9i	14524.0 \pm 3m	3968.3 \pm 6o	3784.9 \pm 2o	1432.4 \pm 3d
M-3	5286.5 \pm 4l	3179.8 \pm 7l	412.0 \pm 7t	411.0 \pm 7t	3292.3 \pm 5q	1692.0 \pm 7w	9381.0 \pm 7o	11955.8 \pm 7z	5783.2 \pm 4g	888.6 \pm 4p
A-1	1181.6 \pm 3z	8550.1 \pm 7g	150.0 \pm 3w	755.0 \pm 7r	3083.2 \pm 3t	399. \pm 7s	6463.0 \pm 3kj	6393.4 \pm 5p	9039.6 \pm 3l	2747.1 \pm 8u
A-16	3642.5 \pm 7g	8758.8 \pm 6d	339.0 \pm 3y	484.0 \pm 6l	4214.5 \pm 3c	242. \pm 6tu	8718.0 \pm 3s	12472.2 \pm 6t	9204.2 \pm 2k	852.7 \pm 7q
A-18	4719.2 \pm 8q	5698.9 \pm 2i	523.0 \pm 1h	713.0 \pm 2u	2091.7 \pm 1l	1124.1 \pm 2h	7979.0 \pm 7z	3056.6 \pm 2u	4152.5 \pm 2k	1940.1 \pm 5m
BA-140	11811.0 \pm 5h	14066.0 \pm 3c	611.0 \pm 7a	470.0 \pm 3m	1491.8 \pm 7d	4854.5 \pm 3w	6249.0 \pm 5s	8077.5 \pm 3w	890.6 \pm 5p	1623.8 \pm 6u
BA-8	5166.2 \pm 4n	9161.88 \pm 3y	334.0 \pm 3z	353.0 \pm 9a	2299.3 \pm 5k	2524.6 \pm 4e	8517.0 \pm 6u	16008.6 \pm 5g	1189.9 \pm 2k	20330.9 \pm 7b
İK-37	6353.0 \pm 3a	9181.1 \pm 8x	399.0 \pm 8u	813.0 \pm 8o	1543.3 \pm 8b	569.0 \pm 8l	6751.0 \pm 8g	11763.3 \pm 8b	3963.8 \pm 6n	1462.9 \pm 7f
İK-38	7312.6 \pm 2u	9491.5 \pm 1v	538.0 \pm 1g	1222.0 \pm 1a	1332.3 \pm 2f	183.0 \pm 1v	5065.0 \pm 6g	6309.3 \pm 6q	2880.1 \pm 7s	2188.1 \pm 5h
İK-39	4173.0 \pm 4y	8626.7 \pm 4f	232.0 \pm 1g	448.0 \pm 5p	7636.9 \pm 1i	3172.6 \pm 5s	8773.0 \pm 2q	6460.0 \pm 4k	5956.6 \pm 7d	1383.5 \pm 6h
FDG-37	2660.3 \pm 3p	2540.5 \pm 6s	213.0 \pm 4kj	960.0 \pm 6j	5687.9 \pm 5t	1216.9 \pm 6g	4104.0 \pm 4m	8020.8 \pm 6x	7942.9 \pm 8u	2328.6 \pm 7e

FD-1	5544.9±2k	4134.1±2z	513.0±6i	257.0±2c	2026.0±6n	7039.9±2m	5332.0±6d	5364.2±2c	1052.0±5m	706.4±2r
FD-48	6353.4±8a	2307.7±2u	662.0±8v	136.0±7x	7824.2±8f	2371.1±3j	3408.2±8q	11347.3±7e	3995.4±4l	2326.0±4e
FD-49	8770.7±5c	2550.4±3r	565.0±6d	876.0±3m	1115.4±6i	1580.4±3y	5310.1±6e	6099.3±3t	2304.5±2f	1283.4±2z
K-7E	8112.0±4n	1970.2±5v	211.0±1k	178.0±4op	2933.5±1x	2981.6±9w	14697.0±1l	10978.9±4i	3971.6±3m	2250.5±3g
K-9C	8239.2±3k	5889.0±3h	766.0±8q	104.0±3g	5697.2±8s	164.0±3v	11761.0±8b	3158.4±3t	5781.9±8g	2004.5±2k
K-19B	8246.8±8j	6647.6±7w	1083.0±7f	176.0±7pq	7224.7±7k	3785.3±5f	8738.0±7r	5462.6±5a	2826.9±4t	2406.8±5b
K-19D	6621.0±4x	5544.1±8k	576.0±8c	240.0±8f	6528.9±8p	3026.1±8v	6463.0±8kj	7303.0±8c	8219.7±3s	672.8±2s
K-22B	3905.3±3d	1909.2±3w	544.0±3f	180.0±3o	4054.4±3e	1124.1±3h	15292.0±3k	15895.0±3i	2338.7±2d	2523.5±3w
KBA-2	7404.9±4t	3377.7±7j	1181.0±3b	1136.0±7c	7780.1±3h	1332.3±5f	2360.0±3w	8383.6±4v	2891.2±2r	2447.2±8a
KBA-8	8373.6±3h	4878.6±1p	288.0±6b	189.0±1n	3294.5±6po	1908.3±1s	2681.1±6v	6724.7±7h	7402.7±5w	2518.9±4y
KBA-10	2657.7±2p	1251.3±1y	354.0±8w	310.0±8a	3295.5±8o	3755.8±8g	12033.9±8w	6713.7±8i	9402.1±8j	968.5±3o
KP-63	3204.2±4k	11563.6±3j	2450.0±4e	158.0±5u	4085.7±4d	3531.7±5k	6456.2±4l	8872.2±5p	6572.1±5a	1830.4±2o
KP-81	11780.8±3i	12209.7±7f	341.0±1y	506.0±7j	1441.0±1e	427.0±5n	2229.1±1y	6461.7±5kj	5939.8±4f	890.9±2b
KIN-21	6318.2±2c	3999.9±1b	630.0±6y	346.0±2x	7926.1±6d	2377.1±2i	6438.3±6n	3511.9±3p	5242.7±3j	1605.0±5ji
KIN-37	7479.5±1r	15478.4±8b	653.0±3w	335.0±8z	3295.8±3o	352.0±8q	7979.8±3z	11931.2±8a	5775.9±2h	1560.8±2n
KIN-99	16450.0±4a	4879.9±0p	1089.0±8e	543.0±6f	7808.5±8g	1909.0±5s	10505.5±8j	4526.2±9k	3599.0±4p	11061.1±7f
RK-77	3724.7±5e	1034.1±6a	452.0±7o	249.0±6d	2524.7±7e	3601.6±6h	6435.0±7o	5679.6±6w	7224.1±3z	1143.3±5l
RK-79	7475.0±3s	6651.1±3v	711.0±4u	112.0±3b	6619.4±4n	603.0±3k	3402.1±5r	13283.7±3q	6007.8±2c	7256.0±6y
RK-84	5545.2±2k	2635.4±2q	545.0±7fe	1028.0±2h	7124.5±7l	159.0±2v	2681.8±7v	6303.3±2r	7392.0±1x	1945.2±7l
RK-85	8365.6±4i	8375.0±8h	413.0±3t	513.0±8i	2607.8±3c	2833.5±8z	11159.4±3h	12020.7±88x	5946.5±5e	2008.4±2j
RK-92	4630.8±3s	7589.0±7q	441.0±7q	634.0±7x	7914.0±7e	416.0±7o	4318.5±7l	9641.7±5n	26087.1±2a	564.7±4t
RK-103	3950.3±2c	2880.5±3m	413.0±5t	598.0±3b	1498.3±5c	509.0±3r	17267.2±5e	5762.7±3v	2007.9±4j	1021.0±2n
RK-123	4013.1±2a	11493.2±1k	418.0±6s	488.0±1k	8479.1±6a	5180.4±1v	12048.8±6v	4101.2±1n	8964.3±5m	1480.1±3a
RK-126	5548.5±5j	10456.4±6s	543.0±3f	565.0±6d	1719.0±5v	1996.5±6p	5395.3±3b	7332.3±6b	2521.0±3wxy	2007.4±2jk
RK-134	4350.3±2x	11957.4±6g	228.0±5h	514.0±6i	4217.0±5cb	2094.6±6l	12894.6±5s	4100.8±6n	11936.1±2e	1487.8±5w
RK-142	3903.8±6d	6307.3±7d	411.0±8t	215.0±7j	6116.6±8q	662.0±5j	23225.2±8c	2306.5±7x	8945.0±4n	1394.6±2g
RK-153	6353.4±2a	10947.3±3m	765.0±7q	733.0±3s	2512.7±7f	2764.4±3a	5900.7±5u	7221.5±3d	1438.8±3c	1677.2±3s
RK-198	4423.5±4v	3703.0±3f	2380.0±3f	482.0±3l	8227.8±3b	214.0±3u	27612.6±3b	11227.3±3g	2571.8±2v	1489.1±8z
RK-205	4356.4±5w	1693.9±3x	412.0±8t	190.0±3n	6528.8±8p	1863.3±3u	12910.4±8r	37951.2±3a	10157.8±2h	1413.5±4f
RK-344	10745.0±3q	2324.4±4t	548.0±0e	575.0±2c	1932.0±0r	230.0±2tu	12020.4±0x	11257.5±4f	2519.9±3xy	1489.1±3x

*: Numbers with the same letters in the same column are not statistically different ($p < 0.05$), NS: Non-stress conditions (control), DS: Drought stress conditions

Table 6. Hormone content of PGPR (ng/ μ L) (mean \pm standard error: n = 4 each treatment)

Isolates	Giberallinc acid		Indol acetic acid		Salicylic acid		Absisic acid	
	NS	DS	NS	DS	NS	DS	NS	DS
TV-3D	2006.0 \pm 6k	3487.0 \pm v	114.5 \pm 2e-h	113.30 \pm 8g-l	1862.1 \pm 5q	2769.6 \pm 3z	1.2 \pm 0.8yz	6.7 \pm 2b-i
TV- 6D	7568.0 \pm 7b	6813.0 \pm 5m	128.5 \pm 3u	141.50 \pm 4m	2024.2 \pm 3c	2727.4 \pm 4c	6.9 \pm 2.0b-h	45.2 \pm 8k
TV-6F	3597.0 \pm 7u	6478.0 \pm 3p	111.6 \pm 2i-o	137.53 \pm 3op	1459.6 \pm 8m	1939.3 \pm 3h	89.4 \pm 7.0d	27.0 \pm 7q
TV-11D	5163.0 \pm 8f	8113.0 \pm 2t	122.4 \pm 5x	214.06 \pm 2b	1878.0 \pm 4o	3395.4 \pm 2f	4.7 \pm 3.1kq	3.0 \pm 2r-v
TV-12E	1443.0 \pm 5v	6720.0 \pm 4n	103.6 \pm 2abz	150.40 \pm 2ml	1917.7 \pm 3k	2549.7 \pm 2k	7.7 \pm 4.2b-e	3.0 \pm 1.2r-x
TV-12H	991.0 \pm 4d	4894.0 \pm 3i	108.7 \pm 6o-u	152.40 \pm 3kl	1598.0 \pm 2c	2777.6 \pm 3y	5.3 \pm 3.7h-n	1.4 \pm 0.6xyz
TV-13B	1722.0 \pm 3p	4353.0 \pm 5n	120.7 \pm 7ayz	117.56 \pm 2bcd	1405.4 \pm 2p	2710.0 \pm 2e	1.9 \pm 0.6t-z	2.7 \pm 1r-y
TV-13C	2079.0 \pm 8h	8851.0 \pm 6f	107.0 \pm 7w-y	137.73 \pm 8op	1178.2 \pm 3x	2788.1 \pm 8x	3.3 \pm 1.2r-w	7.1 \pm 2b-g
TV-17C	8149.0 \pm 4r	7637.0 \pm 3a	138.2 \pm 8op	127.86 \pm 4uv	2258.4 \pm 2v	2318.8 \pm 4t	4.4 \pm 1.8l-r	1.0 \pm 0.2y-z
TV-20E	8361.0 \pm 3q	6991.0 \pm 2k	125.7 \pm 5wv	110.16 \pm 3o-t	2381.0 \pm 5r	991.8 \pm 3z	11.2 \pm 3.2a	13.8 \pm 3xy
TV-22B	1844.0 \pm 2n	9575.0 \pm 1c	101.4 \pm 3b	111.76 \pm 2i-n	1688.0 \pm 3u	3711.0 \pm 2b	2.3 \pm 1.0s-z	44.0 \pm 8k
TV-42A	7652.0 \pm 2z	8632.0 \pm 5n	111.6 \pm 8i-p	172.33 \pm 2g	1873.8 \pm 2p	2559.8 \pm 2j	4.8 \pm 2.1k-q	60.2 \pm 7f
TV-53D	3751.0 \pm 3t	7003.0 \pm 3j	105.7 \pm 4w-z	168.00 \pm 3h	1655.5 \pm 3w	2733.9 \pm 3b	7.4 \pm 1.8b-f	122.5 \pm 6a
TV-54A	3235.0 \pm 2x	7967.0 \pm 4w	112.7 \pm 3g-m	113.0 \pm 2g-l	1290.4 \pm 2u	2760.6 \pm 2a	1.7 \pm 0.5xyz	19.3 \pm 4tu
TV-60D	2375.0 \pm 5d	7482.0 \pm 8d	107.06 \pm 2w-v	227.0 \pm 8b	1340.5 \pm 5t	2295.5 \pm 2u	4.3 \pm 2.0l-r	42.0 \pm 8l
TV-67C	5131.0 \pm 2g	4814.0 \pm 7j	124.5 \pm 2w	120.0 \pm 5aby	1642.6 \pm 3y	2956.4 \pm 3q	1.4 \pm 0.4xyz	15.1 \pm 3wxy
TV-83A	1334.0 \pm 3x	7795.0 \pm 5y	106.3 \pm 3u-y	153.9 \pm 4kj	2027.3 \pm 8c	2834.4 \pm 2u	4.5 \pm 0.7k-r	22.9 \pm 7r
TV-87A	1257.0 \pm 8a	7422.0 \pm 6f	110.6 \pm 2k-q	112.2 \pm 3i-m	1946.2 \pm 4g	3373.7 \pm 3g	2.3 \pm 0.4s-z	22.1 \pm 6rs
TV-91B	1607.0 \pm 4s	4354.0 \pm 7n	104.8 \pm 5a-z	113.5 \pm 8g-k	2091.0 \pm 3a	2456.4 \pm 2m	8.1 \pm 2.1b	2.2 \pm 1s-z
TV-91C	1577.0 \pm 3t	6490.0 \pm 2o	106.0 \pm 7x-z	136.1 \pm 4pq	1455.6 \pm 2n	2014.2 \pm 5d	5.3 \pm 2.0i-n	1.6 \pm 1 y-z
M-3	1227.0 \pm 2b	6268.0 \pm 4r	104.4 \pm 8ayz	105.3 \pm 3x-z	1913.5 \pm 2l	2808.3 \pm 7w	2.7 \pm 1.2r-y	15.1 \pm 2wxy
A-1	762.0 \pm 2e	8680.0 \pm 2l	111.2 \pm 5j-p	113.5 \pm 2g-k	1518.1 \pm 3i	1364.7 \pm 8s	1.2 \pm 0.3yz	111.0 \pm 9b
A-16	4132.0 \pm 5p	6009.0 \pm 3w	121.1 \pm 4yz	108.2 \pm 2r-v	1133.1 \pm 5y	2650.7 \pm 5h	16.0 \pm 4.2w	11.5 \pm 2a
A-18	8055.0 \pm 2v	1975.0 \pm 2l	132.6 \pm 3ts	131.9 \pm 3st	2386.1 \pm 2q	2356.2 \pm 4s	1.7 \pm 0.5xyz	1.8 \pm 1 y-z
BA-140	6275.0 \pm 6q	8674.0 \pm 5m	108.5 \pm 8p-v	111.9 \pm 2i-n	1507.4 \pm 3j	3156.7 \pm 3n	1.5 \pm 0.2 y-z	14.2 \pm 2xy
BA-8	5844.0 \pm 7x	6194.0 \pm 2u	122.2 \pm 4xy	134.6 \pm 3qr	2422.0 \pm 8o	1701.7 \pm 8t	3.4 \pm 1.6o-v	1.7 \pm 1xyz
İK-37	5597.0 \pm 7z	6850.0 \pm 3l	118.8 \pm 3a-z	139.6 \pm 2on	1615.7 \pm 4a	2572.7 \pm 2i	1.4 \pm 0.7xyz	53.4 \pm 6g
İK-38	5195.0 \pm 8e	7287.0 \pm 8g	107.6 \pm 2s-v	114.0 \pm 5f-i	1976.5 \pm 7f	2905.3 \pm 5s	5.2 \pm 2.0h-n	86.4 \pm 7d
İK-39	1310.0 \pm 3y	5655.0 \pm 4y	105.8 \pm 2x-z	147.7 \pm 7m	1875.8 \pm 7po	1930.5 \pm 7j	2.3 \pm 1.2s-z	36.0 \pm 8n
FDG-37	2952.0 \pm 2z	8496.0 \pm 3o	102.2 \pm 3ab	111.9 \pm 8ni-m	1388.2 \pm 8r	1505.3 \pm 8j	3.5 \pm 2.0n-u	15.3 \pm 2wx

FD-1	6255.0±5s	9245.0±2d	110.4±2l-q	113.5±5g-j	1833.9±5r	3409.3±5e	1.7±0.8xyz	22.2±6rs
FD-48	2074.0±2i	4402.0±2m	111.9±5i-n	926.1±4a	1703.4±3t	3085.3±4o	21.8±5.7rs	5.9±2e-l
FD-49	4657.0±3k	4959.0±5h	108.5±2p-s	121.3±3y	1893.1±8m	1813.2±2s	1.5±0.3 y-z	21.0±5st
K-7E	3290.0±w	8454.0±2p	113.4±3g-l	186.2±8e	1700.8±4t	2437.2±3n	30.1±6.4p	50.7±8h
K-9C	2824.0±2a	8736.0±6j	120.2±8ayz	112.4±4i-m	1572.7±3e	3290.9±8h	7.3±2.5b-f	17.9±3uv
K-19B	2509.0±3c	6269.0±7r	106.2±4u-z	127.9±3uv	1524.5±2h	2402.9±4p	5.0±1.3i-p	7.8±2bcd
K-19D	2169.0±2f	8760.0±7i	105.1±7a-z	152.8±2kl	1495.9±2k	2940.9±7r	1.0±0.2yz	16.2±3wv
K-22B	2669.0±5b	7451.0±8e	107.3±7t-w	138.0±2op	1236.7±5w	2974.3±7p	1.3±0.6 y-z	6.1±2d-l
KBA-2	3823.0±2s	7639.0±3a	107.7±8r-v	108.3±3q-v	1486.6±7l	2720.4±8d	61.8±8.0f	27.6±5q
KBA-8	2005.0±6k	5295.0±2b	112.1±5i-n	150.6±2l	1402.4±8p	2036.0±2b	4.5±2.0l-q	45.5±7jk
KBA-10	1424.0±7w	7865.0±5x	97.4±3b	133.2±5rs	2249.0±5x	2828.9±5v	3.6±2.0m-s	4.5±2k-r
KP-63	1626.0±7r	8771.0±2h	111.9±8i-n	178.1±2f	1936.2±4i	3227.4±2k	3.7±1.4m-s	1.6±1xyz
KP-81	1122.0±8c	8702.0±4k	116.8±4cde	156.9±3i	1535.2±3g	2870.7±3t	1.2±1.5yz	47.2±9i-j
KIN-21	4041.0±5q	8832.0±3g	105.4±3x-z	207.4±8c	2145.5±3y	2957.1±8q	3.7±1.6m-s	41.8±8l
KIN-37	1626.0±4r	10433.0±8a	115.6±2def	140.4±4n	1571.0±2e	3752.1±4a	6.7±1.3b-i	43.8±7k
KIN-99	4146.0±3o	8867.0±4e	115.4±2d-g	176.1±7g	1604.5±2b	2675.5±7f	97.1±8.0c	2.3±1s-z
RK-77	1426.0±8w	3979.0±3r	107.6±3s-v	112.0±7i-n	1631.6±3z	2499.4±3l	5.1±1.5h-o	34.4±5no
RK-79	1689.0±4q	5497.0±2a	105.1±2a-z	152.9±8k	1398.4±2q	2658.4±2g	7.8±6.2bcd	1.6±1xyz
RK-84	1777.0±3o	7031.0±2i	109.2±5n-r	120.1±5aby	1613.0±5a	2873.6±2t	1.2±0.2yz	17.9±4uv
RK-85	1886.0±2m	7510.0±3c	102.3±7ab	154.1±3kj	1680.7±7v	2246.1±4x	5.7±2.4f-l	1.03±1yz
RK-92	1508.0±1u	8761.0±2i	107.9±8r-v	139.3±8on	1647.2±8x	3267.1±3i	28.5±6.3pq	32.9±7o
RK-103	4131.0±5p	9707.0±5b	119.9±5a-z	112.0±4i-n	1557.0±5f	3237.7±2j	1.3±0.4xyz	34.2±8no
RK-123	1511.0±2u	6849.0±2l	110.7±4k-q	155.2±3j	1271.8±4v	2457.3±2m	4.5±2.0l-q	6.4±2b-j
RK-126	6251.0±4t	8145.0±3s	106.1±3w-z	190.9±2e	1864.5±3q	2674.6±2f	1.6±0.2xyz	11.6±5az
RK-134	2069.0±5j	6072.0±2v	105.7±8w-z	132.3±2ts	1441.0±3o	2111.4±2z	1.5±0.5o-v	3.3±1xyz
RK-142	1296.0±3z	5228.0±5c	106.2±4u-z	192.3±4d	2002.3±8e	3160.0±4m	5.4±1.8g-m	53.0±8g
RK-153	4457.0±2l	7186.0±2h	132.7±8st	113.4±3g-k	1577.5±4d	3508.4±3c	0.9±0.2z	13.5±4xy
RK-198	2112.0±4g	7566.0±6b	118.2±5abc	111.8±2i-n	1885.1±3n	2423.0±2o	47.5±7.0i	13.3±5yz
RK-205	3170.0±3y	5203.0±7d	112.0±4i-n	138.9±2on	1630.4±2z	3198.9±2l	6.3±2.0ck	4.3±2l-r
RK-344	8071.0±5u	2302.0±7e	130.7±3t	125.7±3v	2253.6±2w	3496.1±3d	8.0±2.6bc	38.3±7m

*: Numbers with the same letters in the same column are not statistically different ($p < 0.05$), NS: Non-stress conditions (control), DS: Drought stress conditions



Az Örnekle Öğrenme Problemleri için MAML ve ProtoNet Algoritmalarının İncelenmesi

Ayla Gülcü¹, Muhammet Alkan²

¹ Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3258-8681), agulcu@fsm.edu.tr

² Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5188-2742), malkan@fsm.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 2 Ekim 2020 ve Kabul Tarihi 10 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.834647)

ATIF/REFERENCE: Gülcü, A. & Alkan, M. (2021). Az Örnekle Öğrenme Problemleri için MAML ve ProtoNet Algoritmalarının İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 113-121.

Öz

Derin sinir ağları ile özellikle görüntü veri kümeleri üzerinde çok başarılı sonuçlar elde edilmektedir. Ancak bu başarının arkasında büyük ölçekli etiketli veri kümeleri yatmaktadır. Derin öğrenme ağlarının özelleşmiş bir türü olan evrişimli sinir ağları birçok görüntü tanıma görevlerinde çok iyi sonuçlar vermiş ve görüntüleri modellemek için standart araçlar haline gelmişlerdir. Özellikle ImageNet gibi büyük ölçekli veri kümelerinin kullanılmaya başlanmasıyla geliştirilen ağların başarıları daha da artmıştır. Ancak ImageNet gibi büyük bir veri kümesi oluşturabilmek maliyetli olması nedeniyle pek kolay değildir. Eldeki problem ile ilgili çok sayıda örnek toplanamadığı durumlarda kullanılan sinir ağı yeterince iyi eğitilememekte, dolayısıyla istenen başarı elde edilememektedir. Bu nedenle derin sinir ağlarının genelleme yeteneklerinin geliştirilmesi ve büyük etiketli veri kümelerine olan ihtiyacın azaltılması çok önemlidir. Tasarlanan bir makina öğrenmesi modelinin büyük bir veri kümelerine ihtiyaç duyulmadan, az sayıda örnek ve önceki görevlerden öğrenilmiş olan meta-bilgilerle genelleştirme kabiliyetinin artırılması ve aynı zamanda yeni görevler için hızlı adaptasyon sağlanması meta-öğrenme ile gerçekleşebilir. Meta-öğrenme algoritmalarında hızlı öğrenme iki aşamada gerçekleştirilir; ilk aşamada meta-bilgiler çıkarılır, ikinci aşamada ise bu meta-bilgiler kullanılarak yeni görevlere hızlı adaptasyon sağlanır. Derin sinir ağları temelli meta-öğrenme yaklaşımlarının az örnekli görüntü veri kümelerinde başarılı sonuçlar vermesiyle meta-öğrenme kavramı tekrar önem kazanmış; özellikle az örnek öğrenme problemleri için literatürde çok sayıda yeni algoritma ortaya çıkmaya başlamıştır. Bu çalışmada, literatürdeki başarılı meta-öğrenme algoritmalarından Model-Agnostic Meta-Learning (MAML) ve Prototypical Networks (ProtoNet) algoritmaları az örnek öğrenme problemlerine uygulanarak performansları incelenmiştir. Veri kümesi olarak literatürde az örnek öğrenme problemleri için oluşturulmuş MiniImageNet ve CIFAR100 görüntü veri kümeleri kullanılmış; farklı meta-öğrenme parametreleri ve farklı algoritma hiper-parametreleri için algoritmaların verdikleri sonuçlar değerlendirilmiştir. Buna göre, MAML algoritmasının örnek sayısının daha az durumda ProtoNet' ten daha iyi sonuçlar verdiği; ancak ProtoNet' in fazla örnek durumunda daha iyi genelleme yapabildiği belirlenmiştir. Bu durum, MAML algoritmasının bütün sınıfları ayırt edebilecek nitelikte genel başlangıç ağırlıklarını öğrenmeye çalışması; ProtoNet algoritmasının ise her bir sınıfı daha iyi temsil edebilmek için her sınıfa ait farklı bir prototip bulmaya çalışması ile açıklanabilir.

Anahtar Kelimeler: az örnek sınıflandırma, meta-öğrenme, MAML, ProtoNet.

Investigating MAML and ProtoNet Algorithms for Few-shot Learning Problems

Abstract

Deep neural networks have proven to be very effective for image-related problems. However, their success is mainly attributed to the large-scale annotated datasets that have been used to train them. Convolutional neural networks which are special type of neural networks have achieved very good results for visual recognition problems and therefore have become the standard tool for these tasks. The use of large-scale annotated datasets like the ImageNet have even improved the results obtained by these networks. However,

¹ Sorumlu Yazar: agulcu@fsm.edu.tr

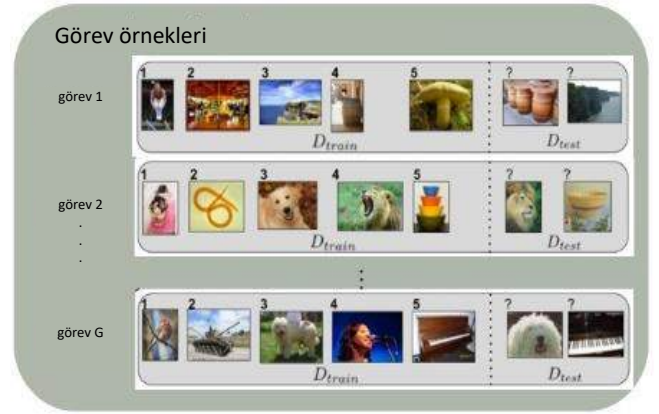
creating an annotated dataset of that scale is very difficult due to its cost. In some cases, even if there are enough resources, it is sometimes impossible to obtain such large datasets. It is shown that the neural networks cannot be trained well if there is not enough training data. As these networks require large amounts of annotated data to be able to generalize well, it is very important to develop new models that can be trained well even if the training data is not abundant. Meta-learning paradigm addresses this problem of few-shot learning by proposing models that can utilize the experience from the previous tasks to learn new tasks. Meta-learning algorithms gain the fast adaptation ability by using the meta-data obtained from the previous tasks. The meta-learning concept has regained its popularity after the success of some deep neural networks-based meta-learning algorithms for the few-shot image classification problems. In this study, two meta-learning algorithms, namely, Model-Agnostic Meta-Learning (MAML) and Prototypical Networks (ProtoNet) are applied to few-shot learning problems and their performance is evaluated. MiniImageNet and CIFAR100 few-shot learning image classification datasets have been used as the test bed, and the two algorithms have been evaluated under different meta-learning and algorithm hyper-parameter settings. The results suggest that MAML results in better classification accuracy than ProtoNet when the number of shot is taken as 1, and ProtoNet results in better accuracy when the number of shot is increased. The main reason for this is that while MAML tries to find common initial weights that can easily distinguish all classes, ProtoNet tries to find a different prototype for each class, and the number of shots definitely increases the representation power of that prototype.

Keywords: few-shot classification, meta-learning, MAML, ProtoNet.

1. Giriş

Yeterli miktarda etiketlenmiş veri bulunduğu derin sinir ağları modellerinin çok iyi performans verdiği gösterilmiştir (He vd., 2016). Ancak Finn vd. yaptıkları çalışmalarda etiketli örnek sayısının azaltıldığında, sadece birkaç adet örnek kullanıldığında derin ağlarının yeni sınıfları yeterince öğrenemediklerini ortaya koymuşlardır (Finn vd., 2017). Yine benzer bir çalışmada da evrişimli sinir ağlarının her bir sınıfa ait çok az sayıda örneğin verildiği görüntü tanıma problemlerinde yeni sınıflar için adapte olamadıkları, dolayısıyla kötü sonuçlar verdikleri gösterilmiştir (Ravi & Larochelle, 2017). Literatürde *az örnekle sınıflandırma* (*few-shot classification*) olarak adlandırılan bu problemler için klasik yöntemlerden farklı olarak öncelikle orta büyüklükte değişik veri kümeleri ile eğitilmiş bir modelin daha sonra az sayıda örnek içeren yeni sınıflar için hızlıca adapte olacağı meta-öğrenme olarak adlandırılan yöntemler kullanılmaya başlanmıştır. Az örnekle sınıflandırma problemlerinde örnek sayısı olarak genellikle 1 ve 5 alınmaktadır (1-shot, 5-shot).

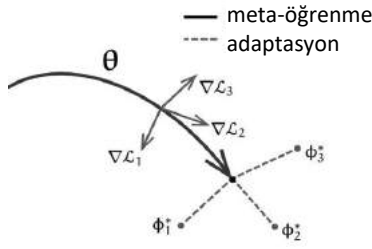
Meta-öğrenme literatürde daha çok öğrenmeyi öğrenme şeklinde anılmaktadır. Çünkü bu yaklaşım, önceki görevlerden/eğitimlerden elde edinilen meta-bilgilerin kullanılmasıyla yeni görevlerin çok daha hızlı bir şekilde öğrenilmesini hedeflemektedirler. Bu sayede eğitim süreci yeni bir görev kümesi için ya da yeni bir problem için sıfırdan başlamak yerine belirli bir tecrübe üzerine geliştirilen bir süreç haline gelir. İnsanların öğrenme süreci bu konuda en güzel örnek oluşturmaktadır. Bir çocuk yeni bir nesneyi öğrenirken o nesnenin parçaları ile daha önceden öğrendiği nesnelere arasında bir bağlantı kurarak çok hızlı bir şekilde öğrenme gerçekleştirilebilir. Örnek vermek gerekirse, bisikleti ilk defa gören bir çocuk tekerleklerini daha önceden öğrendiği parçalara benzetecek, ya da direksiyonu daha önceden oynadığı bir oyuncağın direksiyonuna benzetecek, bu sayede bisikleti diğer nesnelere ayıran özellikleri hemen fark edecektir. Sadece tek bir bisiklet örneği gösterilen bir çocuk bundan sonra bütün bisikletleri tanıyabilir duruma gelmektedir. İşte meta-öğrenme yaklaşımlarının temel amacı da her defasında çok sayıda örneğe ihtiyaç duymadan, sadece birkaç adet örnekle, önceki görevlerden edinilmiş bilgileri kullanarak yeni görevleri çok hızlı bir şekilde öğrenebilen modellerin oluşturulmasıdır.



Şekil 1: Eğitim veri kümesindeki farklı görevler

Meta-öğrenme tekniklerinin eğitim ve test süreçleri klasik makine öğrenmesi süreçlerinden farklıdır. Bu süreçte kullanılan terminoloji de diğer yaklaşımlardan farklıdır. Eğitim kümesi *görev* (*task*) adı verilen N adet sınıfın gösterildiği (N-yollu) ve her sınıfa ait K adet örnek verildiği bir veri kümesinden oluşur. Eğitim sürecinde öncelikle bu görevler üzerindeki hata değerlerine göre modelin parametreleri iyileştirilmeye çalışılır ancak asıl parametre güncellemesi test görevleri üzerinde elde edilen hataya göre yapılır. Dolayısıyla, her bir göreve ait test hatası, meta-öğrenme aşamasındaki eğitim hatası olarak alınarak model güncellenir.

Şekil 1’de her biri eşit büyüklükte destek ve sorgu veri kümelerinden oluşan G adet görevden oluşan bir meta-eğitim veri kümesi gösterilmektedir. Buradan da görülebileceği gibi bir meta-öğrenme eğitim süreci, önceden belirlenmiş G adet görev kullanılarak gerçekleştirilir. Öğrenmeyi öğrenme tamamen burada yer alan veriler kullanılarak gerçekleşir. Şekilde de görüldüğü gibi her bir görev, *destek* (*support*) ve *sorgu* (*query*) olarak iki ayrı veri kümesinden oluşmaktadır. Şekilde D_{train} destek, D_{test} ise sorgu kümesini göstermektedir. Her bir görev için aslında eğitim ve test verilerini oluşturan bu küçük veri kümeleri ana eğitim veri kümesinden rastgele olarak seçilir. Bir görev içindeki destek veri grubu, N sınıfa ait (N-yollu sınıflandırma için) K adet örnekten oluşmaktadır. Sorgu veri grubunda ise destek grubundaki veriler için eğitilen modelin gerçek performansının test edileceği veri kümesi bulunmaktadır. Sorgu veri grubunda ortak yaklaşım olarak 15 adet örnek kullanılmaktadır. Aynı eğitim kümesi gibi görevlerden oluşan test veri kümesi ve ayrıca istenirse doğrulama veri kümesi de oluşturulmakta, bu test veri kümesi ile modelin rapor edilen gerçek test performansları elde edilmektedir.



Şekil 2: Meta-öğrenme ve adaptasyon süreçlerinin gösterimi (Kaynak: Finn vd., 2017).

Meta-öğrenme aşamasından sonra adaptasyon aşamasına geçilir. Şekil 2’ de gösterilen adaptasyon sürecinde her bir görevdeki eğitim kümesindeki (destek) sınıflar için öğrenilmiş ağırlıklar ile başlanarak test kümesindeki (sorgu) sınıflar öğrenilmeye çalışılır. Bu adaptasyon aşaması sayesinde yeni sınıfların öğrenilmesi çok hızlı olur. Ancak test kümesindeki örnekler ile eğitim kümesindeki verilerin benzerliği ne kadar fazla olursa adaptasyon süreci o kadar verimli olur. Şekil 2’ de, Θ meta-modelin parametrelerini gösterirken kalın çizgi ise eğitim verileri ile gerçekleşen meta-öğrenme sürecinin ardından Θ ’ nın güncellenmesini göstermektedir. Her bir farklı görev için hatanın gradyan değerleri ($\nabla L_1, \nabla L_2, \nabla L_3$) ile Θ güncellenmiş olur. Φ_i ’ nin yeni bir i görevi için optimal parametreyi temsil ettiği düşünülürse, yeni meta-model parametresinin, Θ , tüm görevlerin optimal parametrelerine yakın olduğu (Φ_1, Φ_2, Φ_3) görülebilir. Tek bir görev değil, birden fazla farklı görev üzerinden güncellenen meta-model genelleştirme özelliğini gösteren başlangıç ağırlıkları ile yeni görevlere hızlı bir şekilde adapte olmayı başarır. Meta-öğrenme sürecinde Θ ’ nın optimize edilmesi amaçlanır. Adaptasyonda ise amaç Φ ’ nin optimize edilmesidir. Bu açıdan meta-öğrenme yaklaşımlarının iç ve dış olmak üzere iki döngü ile öğrenme gerçekleştirdikleri söylenebilir. Dış döngü meta-öğrenmenin gerçekleştiği, Θ ’ nın optimize edilerek genel özelliklerin çıkarıldığı; iç döngü ise adaptasyonun gerçekleştiği, Φ ’ nin optimize edilmeye çalışıldığı döngüdür. Dış döngüde çıkarılan genel özellikler sayesinde içeride yeni görevler için hızlı adaptasyon sağlanır.

Bu çalışmada, en temel meta-öğrenme alt yapısı haline gelen Model-Agnostic Meta-Learning (MAML) (Finn vd., 2017) ve Prototypical Networks (ProtoNet) (Snell vd., 2017) algoritmaları incelenmiştir. Algoritmaların performansı literatürdeki az örnekle öğrenme problemleri için oluşturulmuş veri kümelerinden MiniImageNet ve CIFAR100 kullanılarak farklı hiper-parametre kümeleri için değerlendirilmiş, bu sayede performansa etkisi en fazla olan hiper-parametreler belirlenmeye çalışılmıştır.

2. Materyal ve Metod

Bu bölümde ilk olarak seçilen iki meta öğrenme algoritması olan MAML ve ProtoNet algoritması anlatılmaktadır. Ardından, çalışmada kullanılan az örnekle öğrenme veri kümelerinden bahsedilmektedir.

2.1. MAML Algoritması

Model-Agnostic Meta-Learning (MAML) (Finn vd., 2017), en temel meta-öğrenme algoritması haline gelmiştir ve yeni ortaya atılan tüm yöntemlerde bu yöntem temel kıyaslama algoritması olarak kullanılmaktadır. Gradyanlı iniş ile eğitilebilen bir model üzerinde çalışabilen bu yaklaşım, tam bağlantılı model, evrişimli ya da yinelemeli sinir ağlarında kullanılabilir. Ayrıca algoritmanın en büyük avantajı, bir güncelleme fonksiyonu ya da bir öğrenme kuralı

gerektirmemesidir. Ancak MAML algoritmasının (Antoniou vd., 2018)’ nin belirttiği gibi bazı dezavantajlarından dolayı çok çeşitli varyasyonları geliştirilmiştir. İlk olarak, MAML’ ın yazarları meta-güncelleme sırasındaki hesaplama maliyeti yüksek olan ikinci türev hesabından kaçınmak için “First-order MAML (FOMAML)” ortaya atmışlardır. İkinci türev hesabı ortadan kalktığı durumda da hala başarılı sonuçlar elde edildiğini, buna karşın hesaplama yükünün azaldığını ortaya koymuşlardır. Bu nedenle literatür çalışmalarında MAML dendiğinde aksi belirtilmedikçe “FOMAML” kastedilmektedir.

En temel hatta ilk ortaya atılan derin-öğrenme temelli meta-öğrenme algoritması olan MAML algoritmasının çalışma prensibi Şekil 2’ de belirtilen yaklaşım ile aynıdır. Hatta bu resim orijinal MAML makalesinden alınmıştır. Dış ve iç döngüden oluşan bu algoritmada dış döngüde genel meta-bilgiler çıkarılarak uygun başlangıç ağırlıkları bulunmaya çalışılır. İç döngüde ise bu başlangıç ağırlıkları kullanılarak yeni görevlerdeki az sayıda örnek için hızlı adaptasyon sağlanmaya çalışılır.

Algorithm 1: MAML

```

input :  $p(T)$  : Görevlerin dağılımı
         $\alpha, \beta$  : adım genişliği hiper-parametreleri
1  $\theta$  parametresini rastgele başlat
2 while durma kriterleri sağlanmadığı sürece do
3   bir yığın görev örnekle:  $T_i \sim p(T)$ 
4   for each  $T_i$  do
5     Gradyan değerlerini hesapla:  $\nabla_{\theta} \mathcal{L}_{T_i}(f_{\theta})$ 
6     Gradyan iniş algoritması ile parametre güncelle:
7      $\theta'_i = \theta - \alpha \nabla_{\theta} \mathcal{L}_{T_i}(f_{\theta})$ 
8   end
9   Meta parametreleri güncelle:
10   $\theta \leftarrow \theta - \beta \nabla_{\theta} \sum_{T_i \sim p(T)} \mathcal{L}_{T_i}(f_{\theta'_i})$ 
11 end
    
```

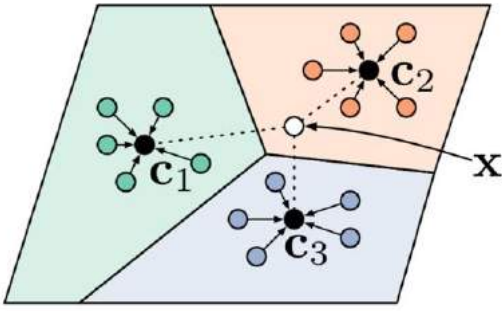
Şekil 3: MAML yöntemi sözde-kodu (Kaynak: Finn vd., 2017).

Şekil 3’te Finn vd.’ nin MAML makalesinde paylaştıkları sözde-kod gösterilmektedir. Satır 1’ de gösterildiği gibi rastgele değerler ile başlatılan Θ , satır 2’ de başlatılan her bir dış döngü adımında güncellenir (satır 8’ e bakınız). Her bir döngü adımında T görev kümesinden rastgele seçilen i adet görevin olduğu bir grup görev (batch) için işlem yapılır. Grup (batch) içindeki her bir görev için eğitim K örnek kullanılarak gerçekleştirilir (satır 5). Bir sonraki adımda ise satır 6’ da görüldüğü gibi bu görev kümesindeki test örnekleri kullanılarak adaptasyon aşamasındaki parametre, Θ , güncellenir. Mevcut yığındaki tüm görevler bittiğinde (iç döngü) yeni güncellenmiş parametreler ile hesaplanan hata değeri meta-öğrenme aşamasındaki eğitim hatası olarak değerlendirilir ve bu değere göre meta-model parametreleri, Θ , güncellenir (satır 8). Ağırlık güncellemesi Stokastik Gradyan İniş (SGD) yöntemi ile yapılır ve istenen hata değerine ulaşılan kadar ya da tanımlanan tüm görev yığınları bitene kadar algoritma devam eder.

2.2. ProtoNet Algoritması

Kısaca ProtoNet olarak adlandırılan Prototypical Networks algoritması her bir sınıfın bir prototip ile temsil edilmesi ve yeni gelen bir örneğin kendisine en yakın sınıfa atanması ilkesiyle çalışmaktadır (Snell vd., 2017). Her ne kadar ProtoNet algoritması basitliği ile göze çarpsa da alınan sonuçlar bu algoritmanın sınıflandırma kabiliyetinin yüksek olduğunu göstermiştir. Algoritmada bir f_{θ} fonksiyonu kullanılarak her bir sınıf için M boyutlu bir prototip vektörü çıkarılmaya çalışılır. Problemden K adet sınıf var ise, her bir k sınıfı için M boyutlu bir

c_k vektörü oluşturulur. Her bir sınıfı temsil eden c_k vektörünün oluşturulmasında ise orijinal algoritmada o sınıfa ait olan veri örnekleri için f_0 fonksiyonu ile elde edilen gösterimlerin ortalaması kullanılmaktadır. Ardından yeni gelen bir örnek için gene aynı f_0 fonksiyonu ile elde edilen gösterim kullanılarak bu gösterimin en yakın olduğu c_k 'nın olduğu sınıf o örneğin ait olduğu sınıf olarak seçilir. Şekil 4' te 3 ayrı sınıf için o sınıfa ait örnekler kullanılarak elde edilmiş olan c_1 , c_2 ve c_3 olmak üzere 3 ayrı prototip gösterilmektedir. Yeni bir X örneği seçilen bir uzaklık metriğine göre kendisine en yakın prototipin olduğu sınıfa atanır. Her bir yeni örnek atanması işlemi ardından hemen o sınıfa ait prototip güncellenir. Doğru sınıfa atanmış bir örnek prototipi iyileştirirken yanlış bir örnek prototipi kötüleştirir. Vektör gösterimleri arasındaki benzerliğin bulunması için makalede en iyi sonuçları *Öklit* mesafesinin verdiği belirtilmiştir. Ancak eldeki probleme göre farklı uzaklık metrikleri de denenebilir. Yanlış sınıflara atanan örnekler için doğan hata değeri kullanılarak SGD algoritmasıyla ağırlıklar güncellenir, dolayısıyla öğrenme süreci geliştirilmiş olur.



Şekil 4: ProtoNet algoritmasında X örneğinin en yakın prototiple temsil edilen sınıfa atanması.

2.3. Kullanılan Veri Kümeleri

Literatürde az örnekle öğrenme problemleri için çeşitli veri kümeleri bulunmaktadır. Az örnekle öğrenme problemleri için yakın zamanda etkili yaklaşımlar geliştirilmiş olmasıyla paralel olarak yeni veri kümeleri de hızla ortaya çıkmaktadır. Bu alanda en çok kullanılan veri kümesi olan Omniglot kümesi (Lake vd., 2011) 50 farklı alfabe için 28x28 boyutunda siyah beyaz el ile yazılmış, her biri 20 örnek içeren 1623 adet farklı karakterden oluşmaktadır. Ancak bu veri kümesi çok basit olması ve dolayısıyla farklı algoritmaların performanslarını değerlendirmede yetersiz oluşu nedeniyle eleştirilmektedir. Bu nedenle çalışmada az örnekle öğrenme veri kümelerinden MiniImageNet ve FC100 veri kümeleri tercih edilmiştir. Bunların yanında, renkli olarak 84x84 boyutunda 200 farklı sınıftan toplam 11788 adet kuş resminden oluşan ve kısaca CUB olarak adlandırılan Caltech-UCSD Birds veri kümesi de az örnekle öğrenme problemlerinde sıklıkla kullanılan veri kümeleri arasındadır. Bu veri kümesi kullanılarak yapılan çalışmalar da literatürde mevcuttur (Alkan, 2020).

2.3.1. MiniImageNet Veri Kümesi

Temel olarak ImageNet olarak bilinen çok büyük ölçekli ILSVRC-12 (Russakovsky vd., 2015) veri kümesinin bir alt kümesi olarak düşünülebilir. Bu büyük veri kümesinin gerektireceği çok yüksek hesaplama ve hatta depolama yükünden kaçınabilmek için oluşturulan çok daha küçük ölçekli bir veri kümesidir. Vinyals vd. (2016) tarafından ImageNet veri kümesinden rastgele olarak 100 adet sınıfın ve her bir sınıfa ait gene rastgele olarak 600 örneğin seçilmesi şeklinde oluşturulmuştur. Ancak örneklerin oluşturulması, az örnekle

öğrenme için görevlerin oluşturulması için değişik örnekleme teknikleri kullanılmaktadır.

Literatürde bu konuda bir ortak kabul bulunmamakla birlikte daha çok Ravi & Larochelle (2017) tarafından tanımlanmış sınıf ayrımları kullanılmaktadır. Buna göre, 100 sınıfın 64 tanesi eğitim, 16 tanesi doğrulama ve 20 tanesi test için kullanılmaktadır. Görüntüler ise 84x84 piksel boyutundadır.

2.3.2. Fewshot-CIFAR100 Veri Kümesi

Kısaca FC100 olarak anılan veri kümesi, MiniImageNet' in oluşturulmasından ilham alınarak oluşturulmuştur. MiniImageNet veri kümesinin az örnekle öğrenme problemleri için Omniglot veri kümesinden daha uygun olduğu görülmüş, bu sebeple benzer yöntemlerle yeni veri kümeleri geliştirilmiştir. FC100 veri kümesi, orijinal CIFAR100 (Krizhevsky, 2009) veri kümesi kullanılarak oluşturulmuş, 100 farklı sınıftan sınıf başına 600 görüntünün olduğu 32x32 boyutunda renkli görüntülerden oluşan bir veri kümesidir (Oreshkin vd., 2018).

Görüntü boyutlarının küçük olması, bu veri kümesini daha zorlu bir hale getirmektedir. Bu veri kümesini zorlu yapan bir diğer özellik de kullanılan sınıf ayrımı ile farklı sınıflar arasında daha bilgi örtüşmesi dolayısıyla benzerliğin daha az indirilmiş olmasıdır. Bu sınıf ayrımının yapılabilmesi için orijinal CIFAR100 veri kümesindeki 100 sınıf bir üst seviyeye çıkılarak 20 ana sınıf altına toplanmıştır. Bu sayede eğitim ve test için seçilen örnekler çok farklı ana sınıflara ait olduklarından aradaki benzerlikler de daha az olacaktır. Eğitim için bu 20 adet üst sınıftan 12 üst sınıf (60 alt sınıf) sadece eğitim için kullanılmaktadır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu bölümde ilk olarak algoritmaların performanslarının incelenmesinde kullanılan deney ortamı anlatılmaktadır. Ardından MAML ve ProtoNet algoritmalarının her birinin kullanılan iki ayrı veri kümesi için verdikleri sonuçlar gösterilmektedir.

3.1. Deney Ortamı

Bölüm 2.3.1' de bahsedildiği gibi az örnekle öğrenme veri kümelerinin oluşturulması kullanılan örnekleme teknikleri açısından farklı olabilmektedir. Ancak sunulan algoritmaların performanslarının adil bir şekilde kıyaslanabilmesi için tüm deneyler için aynı örnekleme yöntemleri ile elde edilmiş görevlerden oluşan veri kümeleri kullanılmalıdır. Az örnekle öğrenme problemleri için başarılı olarak öne sürülen bir algoritmanın belirli bir veri kümesi için verdiği sonuçları literatürde farklı algoritmaların sunduğu sonuçlar ile karşılaştırılırken görev kümelerinin farklı örnekleme teknikleri ile oluşturulmuş olması nedeniyle adil olmayabilmektedir (Chen vd., 2019). Bu nedenle, sadece meta-öğrenme yaklaşımları için görev kümelerinin oluşturulmasının hedeflendiği, bu algoritmalar için veri katmanı sağlayan kütüphaneler yazılmaktadır. Bu çalışmadaki deneyler için Pytorch derin öğrenme kütüphanesi ile uyumlu açık kaynak Torchmeta kütüphanesi seçilmiştir (Deleu vd., 2019). Torchmeta ve benzeri kütüphaneler ile algoritma ile veri sağlama katmanları tamamen birbirlerinden ayrılmakta, tüm algoritmalar için ortak bir alt yapı sunulmaktadır. Bu kütüphaneye veri kümesi tanımlanabileceği gibi, literatürde tanımlanmış olan çok sayıda veri kümesi de zaten bu veri yüklemeye kütüphanesinde hazır olarak bulunmaktadır.

MAML ve ProtoNet algoritmaları hakkında bazı hiper-parametre değerleri seçilmelidir. Örneğin, başlangıç ağırlıklarının nasıl belirleneceği, kaç örnek ya da kaç sınıf kullanılacağı, bunun yanında algoritmaya spesifik değerlerin ne olacağı gibi kararlar verilmelidir. İlk olarak iki çeşit eğitim başlangıç yöntemi kullanılmaktadır: rastgele ve önceden eğitilmiş (pre-train). Başlangıç ağırlıklarının rastgele oluşturulması sırasında ise aynı “seed” değeri kullanılarak adil bir kıyaslama yapılması hedeflenmiştir. Önceden eğitilmiş ağırlıklar ile meta-öğrenmenin başlatılması için ise öncelikle modelin belirli bir veri kümesi kullanılarak standart bir şekilde eğitilmesi gerçekleştirilir. Literatürde ön eğitim işlemi için ImageNet’ in kullanıldığı çalışmalar mevcuttur ve bu eğitim ile bulunan ağırlıklar deney için çok iyi başlangıç durumu sunmaktadırlar. Ancak bu büyüklükteki verinin işlenmesi hem zaman hem de donanım gereksinimi açısından çok zordur. Bu

nedenle bu çalışmada ImageNet veri kümesinin bir alt kümesi olan Tiny ImageNet (Le & Yang, 2015) veri kümesi kullanılarak önceden eğitilmiş ağırlıklar elde edilmiştir. Bu veri kümesinde her biri 500 eğitim, 50 doğrulama ve 50 test görüntüsünden oluşan 200 sınıftan 120000 farklı görüntü bulunmaktadır.

Evrişimli Sinir Ağı (ESA) mimarisi (backbone) olarak ise her iki algoritma için literatürde en çok tercih edilen 4 katmanlı bir konvolüsyon blok yapısı kullanılmıştır (Vinyals vd., 2016). Her bir blokta 3x3 boyutunda 64 adet filtre ve bunu takip eden normalizasyon (Ioffe & Szegedy, 2015) ve 2x2 havuzlama katmanları bulunmaktadır. Aktivasyon fonksiyonu olarak ReLU kullanılmaktadır. Optimizasyon algoritması olarak yine literatürdeki çalışmalarda kullanıldığı gibi 10^{-3} öğrenme oranı ile Adam seçilmiştir. MAML ve ProtoNet algoritmalarının test edilmesi için belirlenmiş olan tüm hiper-parametreler Tablo 1’ de gösterilmektedir.

Tablo 1. Seçilen hiper-parametreler ve değerleri.

Hiper-parametre	Algoritmada Kullanılan Hiper-parametre Değerleri	
	MAML	ProtoNet
Sınıf sayısı (way)	5 – 10	5 – 10
Örnek sayısı (shot)	1 – 5	1 – 5
Eğitim adım sayısı	1 – 5	–
Test adım sayısı	5 – 10	–
Adım genişliği	0,1 – 0,2 – 0,4	–
Yığın boyutu (batch)	8	8
Adam Öğrenme oranı	10^{-3}	10^{-3}

3.2. MAML Sonuçları

Her iki veri kümesi için de MAML eşit sayıda iterasyon (epoch) boyunca eğitilmiştir. Algoritmaların gidişatına göre 200 iterasyonun yeterli olduğuna karar verilmiştir. 200 iterasyon boyunca işlenecek görüntü sayısı ise seçilen yığın boyutuna ve seçilen sınıf ve örnek sayısına göre değişiklik göstermektedir. Bu nedenle tüm veri kümesinin kullanılabilceği bir iterasyon sayısı seçilmelidir. Daha somut bir şekilde ifade etmek gerekirse, MiniImageNet 64 sınıf ve her sınıftan 600 görüntü ile toplam $64 \times 600 = 38400$ adet görüntüden oluşmaktadır. Sınıf sayısının 5 (5-yollu), örnek sayısının da 5 olarak alındığı durumda her bir iterasyonda $5 \times 5 \times (\text{yığın boyutu})$ adet görüntü işlenecektir. Yığın boyutu 8 alınır ise, 1 iterasyonda 200 görüntü işlenecek; toplam iterasyon sayısı 200 olarak belirlendiğinde toplam 40000 görüntü işlenmiş olacaktır. Eğer eldeki eğitim veri kümesinde bu sayıdan daha fazla sayıda görüntü var ise bu görüntüler kullanılmamış olacaktır.

3.2.1. MiniImageNet Üzerindeki Sonuçları

MAML algoritması rastgele ağırlıklarla başlatılarak 200 iterasyon süresince eğitilmiş, ardından test kümesi üzerinde 600 iterasyon süresince test edilmiştir. Literatürdeki çalışmalarda olduğu gibi %95 güven aralığı içerisindeki test doğruluk oranları rapor edilmiştir. Tablo 2’ de gösterildiği üzere 3 çeşit adım

genişliği ve 4 çeşit adım sayısı değerleri için elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

Adım genişliği hiper-parametresi için 0,1 değerinin en iyi değer olarak ortaya çıktığı görülmektedir. 5-yönlü deneyler için sonuçlar incelendiğinde farklı adım genişlikleri için doğruluk değerinin %4 ila %7 arasında değişiklik gösterdiği görülmektedir. Tek bir eğitim adımının gerçekleştiği durumda test için 5 yerine 10 örnek kullanılmasının MiniImageNet veri kümesi için alınan sonuçları arttırdığı gözlemlenmektedir. Ancak bu artış genellikle %1 seviyelerinde kalmıştır. Yine 5-yönlü sonuçlara göre, tüm durumlar için eğitim örnek sayısının artırılmasının (1-örnek yerine 5 örnek kullanılması) doğruluk oranını artırdığı gözlemlenmiştir. Sadece adım genişliğinin 0,1 olduğu satırlar dikkate alındığında bu iyileşme oranının %15’ e kadar çıkabildiği görülmektedir. Benzer bir durum 10-yönlü sonuçlar için de geçerlidir.

Tablo 3’ te orijinal MAML makalesinde (Finn vd., 2017) belirtilen hiper-parametre değerleri kullanıldığında alınan sonuçlar ve orijinal makalede belirtilen sonuçlar gösterilmektedir. Kurulan deney ortamında yapılan deneylerde orijinal makaledeki değerlerden oldukça düşük değerler elde edilebilmiştir. Bunun üzerine MAML makalesinde de kullanıldığı gibi önceden eğitilmiş ağırlıklar kullanılmıştır. Ancak önceden eğitim için bölüm 3.1’de anlatıldığı üzere Tiny

ImageNet veri kümesi kullanılmış; çok büyük boyutlu ImageNet verisi kullanılmamıştır.

Tablo 2. MAML'ın MiniImageNet için doğruluk oranları.

Adım sayıları	Adım genişliği	5-yönlü		10-yönlü	
		1- örnek	5- örnek	1- örnek	5- örnek
Eğitim: 1 Test: 5	0,1	32,91 ± 0,25	48,01 ± 0,24	21,11 ± 0,14	32,99 ± 0,15
	0,2	31,34 ± 0,24	46,70 ± 0,26	21,23 ± 0,14	32,94 ± 0,15
	0,4	30,80 ± 0,23	42,52 ± 0,24	19,45 ± 0,13	28,97 ± 0,14
Eğitim: 1 Test: 10	0,1	33,34 ± 0,24	49,09 ± 0,25	21,64 ± 0,14	33,24 ± 0,16
	0,2	31,47 ± 0,24	46,80 ± 0,25	21,29 ± 0,13	32,91 ± 0,15
	0,4	30,92 ± 0,24	42,63 ± 0,25	19,96 ± 0,13	29,52 ± 0,15
Eğitim: 5 Test: 5	0,1	33,29 ± 0,23	50,89 ± 0,25	21,83 ± 0,14	35,48 ± 0,16
	0,2	31,54 ± 0,24	48,06 ± 0,25	21,53 ± 0,13	34,65 ± 0,15
	0,4	28,91 ± 0,23	46,51 ± 0,26	20,12 ± 0,13	32,85 ± 0,15
Eğitim: 5 Test: 10	0,1	34,22 ± 0,24	50,69 ± 0,25	22,98 ± 0,14	36,21 ± 0,16
	0,2	32,33 ± 0,24	48,78 ± 0,26	22,48 ± 0,13	35,32 ± 0,16
	0,4	30,49 ± 0,22	47,18 ± 0,27	21,12 ± 0,13	33,54 ± 0,15

Tablo 3. Kurulan deney ortamında alınan sonuçların orijinal sonuçlarla karşılaştırılması.

Veri Kümesi: MiniImageNet	5-yönlü	
	1- örnek	5- örnek
MAML makalesi	48,70 ± 1,84	63,11 ± 0,92
Kurulan deney düzeneği	45,90 ± 0,31	59,10 ± 0,26

Model, Tiny ImageNet veri kümesi ile eğitilmiş ağırlıklar ile başlatıldığında orijinal MAML makalesinde açıklanan sonuçlara yakın değerler elde edilmiştir. MAML makalesinde Tablo 3' te de gösterildiği gibi 5-yönlü 1-örnek için $48,70 \pm 1,84$ aralığındaki doğruluk oranı; 5-yönlü 5-örnek verildiği durumda ise $63,11 \pm 0,92$ doğruluk oranı elde edilmiştir. Tiny ImageNet veri kümesi ile eğittiğimiz modelde ise sırasıyla $45,90 \pm 0,31$ ve $59,10 \pm 0,26$ değerleri elde edilmiştir. Orijinal çalışmada kullanılan ImageNet veri kümesine göre çok küçük boyutlu bir veri kümesi kullanıldığından elde edilen %3' lük fark makul görünmektedir. Önceden eğitilmiş ağırlıklarla başlamanın önemini de net olarak ortaya çıktığı bu sonuçlar ile ayrıca kurulan düzeneğin de doğru çalıştığı doğrulanmış olmaktadır.

3.2.2. Fewshot-CIFAR100 Üzerindeki Sonuçları

MAML algoritmasının MiniImageNet üzerinde yapılan tüm deneyleri kısaca FC100 olarak bilinen Fewshot-CIFAR100 üzerinde de tekrarlanmıştır. Gene 0,1 – 0,2 ve 0,4 olmak üzere 3 farklı adım genişliği ve 4 farklı adım değeri denenmiştir. Algoritma, yine 200 iterasyon boyunca eğitilmiş ve elde edilen sonuçlar 600 iterasyon boyunca test edilmiştir. Test doğruluk oranları için %95 güven aralığı içindeki değerler rapor edilmiştir. Tablo 4' te MAML algoritması rastgele ağırlıklar ile başlatıldığında elde edilen sonuçlar görülmektedir.

Yapılan deneyler sonucunda, adım genişliği parametresi için MiniImageNet ile benzer sonuçların elde edilmiştir. Sadece 1 adet deney konfigürasyonu hariç genel olarak 0,1 adım genişliğinin en iyi değer olduğu söylenebilir. 5-yönlü deneyler için 0,1 adım genişliği incelendiğinde, hem 1-örnek hem de 5-örnekli deneylerde daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Bu iyileşmenin %5 ila %10 arasında olduğu tabloda görülmektedir.

Hem 5-yönlü, hem 10-yönlü deney sonuçlarına göre tek bir eğitim adımının seçildiği durumda test sürecinde 5 yerine 10 adım değerinin kullanılmasının iyileşme yönünde çok kısıtlı bir

etkisinin olduğu gözlemlenmektedir. Yine hem 5-yönlü, hem 10-yönlü sonuçlara göre örnek sayısının artırılması doğruluk oranında belirgin bir artışa sebep olmaktadır. 0,1 adım genişliği değerinin kullanıldığı durumlarda aradaki farkın yaklaşık olarak %15 olduğu görülmektedir.

ProtoNet algoritmasının orijinal makalesindeki sonuçlar ile kurulan deney düzeneğinde elde edilen sonuçlar da karşılaştırılmıştır. Orijinal çalışmada büyük ölçekli ImageNet veri kümesi ile eğitilmiş başlangıç ağırlıkları ile başlanmasıyla 5-yönlü 1-örnek ve 5-yönlü 5-örnek deneyler için sırasıyla $58,9 \pm 1,9$ ve $71,5 \pm 1,0$ doğruluk oranları elde edilmiştir. Bu çalışmada ise Tiny ImageNet ile elde edilen başlangıç ağırlıklarının kullanıldığı durumda orijinal makalede belirtilen değerlerden yaklaşık %3 daha düşük değerler elde edilebilmiştir. Aradaki bu farkın önceden eğitim için kullanılan veri kümesi büyüklüğü açısından makul olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, önceden eğitilmiş ağırlıklar ile algoritma başlatıldığında rastgele ağırlıklarla başlatmaya göre doğruluk oranlarında 5-yönlü 1-örnek için %12' lik; 5-yönlü 5-örnek deneyler için neredeyse %9' luk bir iyileşme elde edilmiştir.

3.3. ProtoNet Sonuçları

ProtoNet algoritması deneyleri için de 200 iterasyon boyunca model eğitilmiştir.

3.3.1. MiniImageNet Sonuçları

MiniImageNet veri kümesi üzerinde ProtoNet algoritmasının almış olduğu doğruluk oranları hem algoritmanın rastgele başlangıç durumunda hem de eğitilmiş ağırlıklara başlatıldığı durumlar için Tablo 5' te verilmiştir. Eğitilmiş ağırlıklarla başlangıç deneyleri için Tiny ImageNet veri kümesi üzerinden elde edilen ağırlıklar kullanılmıştır. Tablo 5' te verilen sonuçlar, 200 iterasyon boyunca eğitim veri kümesi üzerinde eğitilen ilgili modellerin ardından 600 iterasyon süresince test veri kümesi

üzerinde verdikleri doğruluk oranlarının %95 güven aralığı içerisindeki değerlerdir.

Tablo 4. MAML' in FC100 için doğruluk oranları.

Adım sayıları	Adım genişliği	5-yönlü		10-yönlü	
		1- örnek	5- örnek	1- örnek	5- örnek
Eğitim: 1 Test: 5	0,1	40,90 ± 0,31	56,17 ± 0,28	27,58 ± 0,17	41,34 ± 0,18
	0,2	40,26 ± 0,30	54,41 ± 0,29	27,34 ± 0,18	38,32 ± 0,17
	0,4	35,59 ± 0,28	49,38 ± 0,28	23,77 ± 0,14	33,27 ± 0,15
Eğitim: 1 Test: 10	0,1	40,89 ± 0,30	56,69 ± 0,29	28,07 ± 0,17	42,41 ± 0,18
	0,2	40,08 ± 0,29	54,33 ± 0,29	27,59 ± 0,18	38,89 ± 0,18
	0,4	35,77 ± 0,28	49,45 ± 0,28	24,18 ± 0,16	34,97 ± 0,17
Eğitim: 5 Test: 5	0,1	41,67 ± 0,30	58,73 ± 0,29	28,90 ± 0,17	44,98 ± 0,17
	0,2	35,10 ± 0,26	58,06 ± 0,28	29,32 ± 0,17	43,30 ± 0,18
	0,4	31,08 ± 0,24	52,40 ± 0,28	21,08 ± 0,14	37,13 ± 0,15
Eğitim: 5 Test: 10	0,1	42,65 ± 0,31	59,49 ± 0,29	29,58 ± 0,18	46,02 ± 0,17
	0,2	38,47 ± 0,29	58,49 ± 0,29	29,54 ± 0,17	44,42 ± 0,18
	0,4	34,20 ± 0,28	52,06 ± 0,30	21,47 ± 0,16	38,65 ± 0,18

Tablo 5. ProtoNet' in MiniImageNet için doğruluk oranları.

Başlangıç	5-yönlü		10-yönlü	
	1- örnek	5- örnek	1- örnek	5- örnek
Rastgele	26,83 ± 0,17	45,06 ± 0,22	16,98 ± 0,11	31,14 ± 0,13
Eğitilmiş	38,25 ± 0,25	50,62 ± 0,23	20,48 ± 0,12	35,88 ± 0,14

Alınan 5-yönlü ve 10-yönlü deney sonuçları incelenirse, eğitim sürecinde örnek sayısının artırılmasının bütün deneylerdeki doğruluk oranlarını artırdığı görülmektedir. Bütün parametrelerin sabit tutularak sadece örnek sayısının artırılması, yapılan bütün deneylerde alınan doğruluk oranlarını neredeyse 2 katına çıkarmıştır. Doğruluk oranlarındaki bu yükseliş durumu hem 5-yönlü hem de 10-yönlü deneylerde aynı şekilde göze çarpmaktadır. Benzer bir durum MAML algoritmasının almış olduğu doğruluk oranlarında da görülmüştü ve modele eğitim sürecinde artan sayıda örnek verildiğinde alınan doğruluk oranlarının arttığı yapılan deneylerde gösterilmiştir.

ProtoNet algoritmasının başlangıcı rastgele seçildiğinde, yani sıfırdan eğitime başlandığında alınan doğruluk oranları ile eğitilmiş ağırlıklarla başlatıldığında alınan doğruluk oranları karşılaştırıldığında belirgin farklılıklar gözlemlenmiştir. Eğitilmiş ağırlıklarla başlangıç durumunda doğruluk oranlarında elde edilen artış başarısının benzeri MAML algoritmasının yine aynı veri kümesi üzerindeki sonuçlarında da gözlemlenmişti. Bu sonuçları incelediğimizde 5-yönlü 1-örnek sonuçları için %12' lik bir artış gözlemlenirken 5-yönlü 5-örnek sonuçları için ise kabaca %5' lik bir iyileşme gözlemlenmiştir.

Orijinal makalede elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında, bu sonuçlara en yakın değerlerin eğitilmiş ağırlıklarla başlangıç için Tiny ImageNet veri kümesi üzerinden elde edilen ağırlıkların kullanıldığı durumda elde edildiği gözlemlenmiştir. Büyük ImageNet veri kümesi üzerinden elde edilmiş ağırlıklarla başlatılan orijinal makalede 5-yönlü 1-örnek için $42,90 \pm 0,6$ değeri gösterilmiştir. Bu çalışmada elde edilen değerler orijinal makalede sunulan bu sonuçlarla karşılaştırıldığında, bu sonuçlar arasında yaklaşık %4' lük bir fark gözlemlenmiştir. Başlangıç ağırlıkları orijinal makalede büyük ImageNet veri kümesi üzerinden elde edilirken bizim yaptığımız çalışmada ise daha

küçük ölçekli olan Tiny ImageNet veri kümesi üzerinden elde edilmesinden dolayı aradaki %4' lük bu farkın kabul edilebilir olduğu düşünülmektedir.

Bütün deneylerde modelin temsil boyutu ve aynı zamanda gizli katman boyutu 64 olarak belirlenip sonuçlar bu değere göre raporlanmıştır. Sadece 5-yönlü deneyler için, bu iki parametrenin 64 yerine 128 değeriyle çalıştırıldığında elde edilen doğruluk oranları Tablo 6' da paylaşılmıştır. Tablo 6' da kullanılan TB kısaltması temsil boyutunu belirtirken SK kısaltması ise gizli katman boyutunu belirtmektedir. Temsil boyutunun 64' ten 128' e çıkartılması ile rastgele başlangıca sahip 1-örnek deneylerinde yaklaşık olarak %2' lik bir artış gözlemlenirken rastgele başlangıca sahip 5-örnek deneylerinde ise yaklaşık %2' lik bir azalma gözlemlenmiştir.

3.3.2. Fewshot-CIFAR100 Sonuçları

Fewshot-CIFAR100 ya da kısaca FC100 olarak adlandırılan veri kümesi üzerinde ProtoNet algoritmasının almış olduğu doğruluk oranları hem algoritmanın rastgele başlangıç durumunda hem de eğitilmiş ağırlıklarla başlatıldığı durumlar için Tablo 7' de verilmiştir. Eğitilmiş ağırlıklarla başlangıç deneyleri için Tiny ImageNet veri kümesi üzerinden elde edilen ağırlıklar kullanılmıştır. Tablo 7' de verilen sonuçlar, 200 iterasyon boyunca eğitim veri kümesi üzerinde eğitilen ilgili modellerin ardından 600 iterasyon süresince test veri kümesi üzerinde verdikleri doğruluk oranlarının %95 güven aralığı içerisindeki değerlerdir.

Alınan 5-yönlü ve 10-yönlü deney sonuçlarını incelersek, eğitim sürecinde örnek sayısının artırılmasının bütün deneylerdeki doğruluk değerini artırdığı görülmektedir. Bütün parametrelerin sabit tutularak sadece örnek sayısının 1' den 5' e çıkartılması yapılan bütün deneylerde alınan doğruluk oranlarını

yaklaşık olarak %20 arttırmıştır. Doğruluk oranlarındaki bu yükseliş durumu hem 5-yönlü hem de 10-yönlü deneylerde aynı şekilde gözükmemektedir. Benzer bir durum MAML algoritmasının almış olduğu doğruluk oranlarında da gözlemlenmişti ve modele eğitim için daha fazla sayıda örnek verildiğinde alınan doğruluk oranlarının arttığı yapılan deneylerde gösterilmiştir.

ProtoNet algoritmasının rastgele ağırlıklarla başlatılması yerine eğitilmiş ağırlıklarla başlatıldığında alınan doğruluk oranları karşılaştırıldığında yine aynı şekilde belirgin artışlar

gözlemlenmiştir. Eğitilmiş ağırlıklarla başlangıç durumunda doğruluk oranlarında elde edilen artış başarısının benzeri MAML algoritmasının yine aynı veri kümesi üzerindeki sonuçlarında da gözlemlenmişti. Bu sonuçları incelediğimizde 5-yönlü 1-örnek sonuçları için %10' luk artış gözlemlenirken 5-yönlü 5-örnek sonuçları için ise %7' lik bir iyileşme gözlemlenmiştir. 10-yönlü 1-örnek sonuçları için %10' luk bir artış gözlemlenirken 10-yönlü 5-örnek sonuçları için ise %8' lik iyileşme gözlemlenmiştir.

Tablo 6. ProtoNet' in MiniImageNet üzerinde ek parametreler için sonuçları

Başlangıç	Örnek sayısı	5-yönlü		
		TB:64, SK: 64	TB:128, SK:64	TB:64, SK:128
Rastgele	1-örnek	26,83 ± 0,17	28,07 ± 0,18	28,45 ± 0,19
	5-örnek	45,06 ± 0,22	44,95 ± 0,23	42,86 ± 0,24
Eğitilmiş	1-örnek	38,25 ± 0,25	32,54 ± 0,22	32,41 ± 0,23
	5-örnek	60,10 ± 0,25	53,31 ± 0,25	51,98 ± 0,24

Tablo 7. ProtoNet' in FC100 için doğruluk oranları.

Başlangıç	5-yönlü		10-yönlü	
	1-örnek	5-örnek	1-örnek	5-örnek
Rastgele	40,86 ± 0,28	60,62 ± 0,28	27,49 ± 0,16	48,24 ± 0,18
Eğitilmiş	50,07 ± 0,31	67,67 ± 0,25	37,05 ± 0,19	56,47 ± 0,17

Orijinal makalede elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında, bu sonuçlara en yakın değerlerin eğitilmiş ağırlıklarla başlangıç için Tiny ImageNet veri kümesi üzerinden elde edilen ağırlıkların kullanıldığı durumda elde edildiği gözlemlenmiştir. Büyük ImageNet veri kümesi üzerinden elde edilmiş ağırlıklarla başlatılan orijinal makalede 5-yönlü 1-örnek için $55,5 \pm 0,7$ değeri gözlemlenirken 5-yönlü 5-örnek için $72,0 \pm 0,6$ değeri gözlemlenmiştir. Elde edilen değerlerle orijinal ProtoNet makalesinde verilen sonuçları karşılaştırdığımızda, bu sonuçlar arasında yaklaşık %5' lik bir fark gözlemlenmiştir. Başlangıç ağırlıkları orijinal makalede büyük ImageNet veri kümesi üzerinden elde edilirken bizim yaptığımız çalışmada ise daha küçük ölçekli olan Tiny ImageNet veri kümesi üzerinden elde edilmesinden dolayı aradaki %5' lik bu farkın kabul edilebilir olduğu görülmektedir.

Yapılan bütün deneylerde modelin temsil ve aynı zamanda gizli katman boyutu değerleri 64 olarak belirlenip sonuçlar bu değere göre raporlanmıştır. Sadece 5-yönlü deneyler için, bu iki parametrenin 64 yerine 128 değeriyle çalıştırıldığında elde edilen doğruluk oranları Tablo 8' de paylaşılmıştır. Tablo 6' da kullanılan TB kısaltması temsil boyutunu belirtirken SK kısaltması ise gizli katman boyutunu belirtmektedir. Temsil boyutunun 64' ten 128' e çıkartılması ile rastgele başlangıç durumunda 1-örnek ve 5-örnek kullanılarak yapılan deneylerde %1' lik bir azalma görülmüştür. Yalnız gizli katman boyutunun 64' den 128' e yükseltilmesi ile rastgele başlangıca sahip 1-örnek deneylerinde yaklaşık olarak %2' lik bir artış gözlemlenirken rastgele başlangıca sahip 5-örnek deneylerinde ise aynı sonuçlara ulaşıldığı gözlemlenmiştir. Eğitilmiş ağırlıklarla başlangıç yapılan deneylerde ise daha farklı durumlar gözlemlenmiştir. Yalnız temsil boyutunun 64' ten 128' e çıkartılması ile eğitilmiş ağırlıklarla başlangıç yapılan 1-örnek deneylerinde kabaca %6 civarında bir azalma görülürken eğitilmiş ağırlıklarla başlangıç

yapılan 5-örnek deneylerinde ise yaklaşık %4' lük bir azalma görülmüştür.

4. Sonuç

Klasik makine öğrenmesi yöntemleri ile elde edilen modele, eğer bu eğitim sürecinde görmediği farklı bir görüntü verilirse modelin bu görüntüye adaptasyon zorluğu klasik makine öğrenmesi yöntemlerindeki en temel problem olarak gözükmemektedir. Bu sebepten dolayı her problem için yeni bir model sıfırdan eğitim sürecinden geçirilir. Diğer bir deyişle, oluşturulan bu modeller genel bir çözüm sunabilmekten çok özel bir çözüm olarak kalmışlardır ve bu sebepten dolayı genelleme performansları düşüktür. Modelin farklı veri kümeleri için bu şekilde sıfırdan sürekli olarak eğitilmesi hem zaman hem de donanım açısından zorlayıcı bir problem olmaktadır. Bu gibi zorlukların üstesinden gelebilmek ve benzer problemler için daha genel modeller eğitebilmek için meta-öğrenme yaklaşımları önerilmiştir. Bu yaklaşımların eğitim süreçlerine getirdiği değişiklikler sayesinde oluşacak olan modelin genelleme performansı artmaktadır. Eğitim süreci boyunca, aynı yığın içerisinde çok sayıda görev oluşturulup modelin bu görevler üzerindeki genel başarısı arttırılmaya çalışılır. Bu sayede, ortaya çıkan modelin adaptasyon zorluğu ortadan kalkacaktır ve daha önce eğitim sürecinde görmediği farklı bir görüntüye daha çabuk ve doğru bir şekilde adapte olacaktır.

Farklı parametre değerlerini deneyerek yaptığımız deneyler sonucunda MAML algoritması için en etkili parametrenin adım genişliği olduğu gözlemlenmiştir. Uygun bir adım genişliği değeri ile algoritmanın başarısı daha da artarken uygun olmayan bir adım genişliği değeri ile algoritmanın başarısının azaldığı gözlemlenmiştir. Adım genişliğinin dikkatli bir şekilde denenecek uygun değerinin belirlenmesi alınacak sonuçlar açısından daha etkili olacaktır ve sonuçlar üzerindeki olumsuz

etkisinin daha aza indirilebileceği gözlemlenmiştir. Bir başka önemli durum ise her görevin kaç adet örnek görüntü içereceğidir. Hem MAML hem de ProtoNet algoritmaları için, eğitim sürecinde modele gösterilen örnek sayısının artırılmasının olumlu sonuçları gözlemlenmiştir ve daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Yapılan bütün deneylerde, her bir parametrenin ayrı bir değişken şeklinde ele alınması elimizde halihazırda bulunan hesaplama gücü açısından mümkün

olmadığından dolayı literatürde yapılan çalışmalarda sıklıkla kullanılan ve iyi sonuçlar elde ettiği belirlenen parametre değerleri seçilmiştir. Gerektiğinde elimizdeki hesaplama gücüne uygun olacak şekilde bu parametreler değiştirilmiştir. Bu duruma örnek vermek gerekirse, elimizdeki kaynakların limiti aşılmadan deney sonuçlarını doğru bir şekilde elde edebilmek adına hem MAML algoritması hem de ProtoNet algoritması için daha küçük bir yığın boyutu seçilmiştir.

Tablo 8. ProtoNet' in FC100 üzerindeki ek parametre sonuçları

Başlangıç	Örnek sayısı	5-yönlü		
		TB:64, SK: 64	TB:128, SK:64	TB:64, SK:128
Rastgele	1-örnek	40,86 ± 0,28	40,27 ± 0,28	42,18 ± 0,28
	5-örnek	60,62 ± 0,28	59,64 ± 0,27	60,72 ± 0,28
Eğitilmiş	1-örnek	50,07 ± 0,31	49,65 ± 0,30	44,41 ± 0,29
	5-örnek	67,67 ± 0,25	70,09 ± 0,25	63,18 ± 0,26

Hem MAML hem de ProtoNet algoritmalarının elde ettikleri sonuçlara baktığımızda, modele gösterilen örnek sayısı arttıkça ProtoNet algoritmasının elde ettiği doğruluk oranlarının MAML algoritmasına yaklaştığı ve hatta daha iyi sonuçlar elde ettiği gözlemlenmiştir. Bu artışı gözlemlediğimizde, ProtoNet algoritmasının öğrenilmesi istenen her sınıf için o sınıf özelliklerini en iyi şekilde temsil edecek bir prototip oluşturmaya çalışması ve prototip oluşturulması için gösterilen örnek sayısının artması sonucunda oluşturulan bu prototiplerin daha doğru sonuçlar elde ettiği sonucuna varılmıştır. MAML algoritmasında ise bu durum daha farklı şekilde işlemektedir. Algoritma, eğitim süreci boyunca tüm sınıfların ortak özelliklerini en iyi şekilde temsil edecek ortak başlangıç ağırlıkları çıkarmaya, bu şekilde öğrenmeyi genelleştirmeye çalışır.

Yaptığımız bu çalışmada elimizdeki hesaplama kısıtlarından dolayı sabit bir omurga kullandığımız için sonraki çalışmalarda ise bu değişimin sonuçları nasıl etkilediğinin incelenmesi düşünülmektedir. Omurga değiştirilerek yapılacak deneylerin asıl amacı kullanılan ağ modeline göre doğruluk oranlarının nasıl ve neye göre değiştiğini gözlemleyebilmektir. Bu deneylerde omurga modellerinin derinliği ve parametre sayıları gözlemlenerek sonuçların incelenmesi düşünülmektedir. Bunun yanında çok daha yüksek gizli katman boyutları ve temsil boyutları için ve farklı veri kümeleri için algoritmaların performanslarının incelenmesi ileride yapılması düşünülen çalışmalar arasındadır.

Kaynakça

Alkan, M. (2020). Az Örnekle Öğrenme Problemlerinde Derin Öğrenme Temelli Meta-Öğrenme Algoritmalarının Karşılaştırılması (Master's thesis, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü).

Antoniou, A., Edwards, H., & Storkey, A. (2018). How to train your MAML. 7th International Conference on Learning Representations, ICLR 2019. <http://arxiv.org/abs/1810.09502>

Chen, W.-Y., Liu, Y.-C., Kira, Z., Wang, Y.-C. F., & Huang, J.-B. (2019). A Closer Look at Few-shot Classification. <http://arxiv.org/abs/1904.04232>

Deleu, T., Würfl, T., Samiei, M., Cohen, J. P., & Bengio, Y. (2019). Torchmeta: A Meta-Learning library for PyTorch. <http://arxiv.org/abs/1909.06576>

Finn, C., Abbeel, P., & Levine, S. (2017). Model-Agnostic Meta-Learning for Fast Adaptation of Deep Networks. 34th International Conference on Machine Learning, ICML 2017, 3, 1856–1868. <http://arxiv.org/abs/1703.03400>

He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep Residual Learning for Image Recognition. 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 770–778. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.90>

Ioffe, S., & Szegedy, C. (2015). Batch normalization: Accelerating deep network training by reducing internal covariate shift. 32nd International Conference on Machine Learning, ICML.

Krizhevsky, A. (2009). Learning Multiple Layers of Features from Tiny Images. ... Science Department, University of Toronto, Tech. <https://doi.org/10.1.1.222.9220>

Lake, B. M., Salakhutdinov, R., Gross, J., & Tenenbaum, J. B. (2011). One shot learning of simple visual concepts. In Proceedings of the 33rd Annual Conference of the Cognitive Science Society.

Le, Y., & Yang, X. (2015). Tiny ImageNet Visual Recognition Challenge.

Oreshkin, B. N., Rodriguez, P., & Lacoste, A. (2018). TADAM: Task dependent adaptive metric for improved few-shot learning. Advances in Neural Information Processing Systems. <http://arxiv.org/abs/1805.10123>

Ravi, S., & Larochelle, H. (2017). Optimization as a Model for Few-Shot Learning. Proceedings of the 5th International Conference on Learning Representations (ICLR 2017), 1–11.

Russakovsky, O., Deng, J., Su, H., Krause, J., Satheesh, S., Ma, S., Huang, Z., Karpathy, A., Khosla, A., Bernstein, M., Berg, A. C., & Fei-Fei, L. (2015). ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge. International Journal of Computer Vision. <https://doi.org/10.1007/s11263-015-0816-y>

Snell, J., Swersky, K., & Zemel, R. S. (2017). Prototypical Networks for Few-shot Learning. Advances in Neural Information Processing Systems. <http://arxiv.org/abs/1703.05175>

Vinyals, O., Blundell, C., Lillicrap, T., Kavukcuoglu, K., & Wierstra, D. (2016). Matching networks for one shot learning. Advances in Neural Information Processing Systems, Nips, 3637–3645.



Meyve ve Sebzelerde Aktif Ambalajlama Teknolojisinin Kullanımı

Mehmet Seçkin Aday^{1*}

^{1*} Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Çanakkale, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5669-5812), mseckinaday@comu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 14 Ekim 2020 ve Kabul Tarihi 10 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.840317)

ATIF/REFERENCE: Aday, M. S. (2021). Meyve ve Sebzelerde Aktif Ambalajlama Teknolojisinin Kullanımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 122-130.

Öz

Son yıllarda tüketicilerin daha sağlıklı bir yaşam tarzına ve besleyici değeri yüksek olan gıdalara yönelmeleri nedeniyle taze meyve ve sebzelere olan talep artmaktadır. Fakat taze meyve ve sebzeler hasat sonrasında da canlılıklarını devam ettirmekte olup, solunum ve terleme gibi birçok reaksiyonun hızı ortam koşullarına ve uygulanan hasat sonrası muhafaza metotlarına göre değişmektedir. Taze meyve ve sebzelerde kullanılan hasat sonrası muhafaza metotlarının en önemli amacı; solunum hızını yavaşlatmak ve mikrobiyal bozulmayı geciktirmektir. Fakat hangi metot kullanılırsa kullanılsın, kullanılan ambalajlama teknolojisi ve ambalaj materyalleri taze meyve ve sebzelerde raf ömrünü doğrudan etkilemektedir. Geleneksel ambalajlama teknolojileri; içerme, koruma, iletişim ve kullanım kolaylığı sağlama fonksiyonlarına sahip olup, genel amaç ambalaj ürün etkilişiminin inert olmasıdır. Bununla birlikte tüketicilerin yaşam tarzlarının değişmesi, daha taze ve katkı maddesi kullanılmayan ürünleri tercih etmesi ve perakende uygulamalarındaki değişiklikler, yeni ambalaj teknolojilerindeki gelişmeleri tetiklemektedir. Bu teknolojilerden bir tanesi olan aktif ambalajlama, ambalajlara eklenen çeşitli bileşenlerle (oksijen, karbondioksit, etilen tutucular, nem düzenleyiciler veya antimikrobiyaller) meyve ve sebzelerin kalitelerinin korunması ve raf ömrünün uzatılması konusunda gıda endüstrisine alternatif çözümler sunmaktadır. Oksijen tutucular ambalaj içerisindeki oksijen konsantrasyonu azaltarak solunum hızının düşürülmesini sağlarken, karbondioksit tutucular fazla karbon dioksitin üründe meydana getireceği olumsuz değişiklikleri engellemek için kullanılmaktadır. Etilen tutucular klimaterik meyvelerde yaşlanma reaksiyonlarını azaltmak için ambalajlara eklenmektedir. Nem düzenleyiciler ise ambalaj içerisindeki yüksek nem dolayısıyla meyve ve sebzelerde gerçekleşen istenmeyen değişimleri engellemek amacıyla kullanılmaktadır. Antimikrobiyal bileşenler de mikrobiyal bozulmayı azaltmak ve gıda güvenliğini sağlamak için meyve ve sebzeler ambalajlarında yer almaktadır. Bu derleme makalede, aktif ambalajlamada kullanılan bileşenler özetlenmiş ve bu bileşenlerin meyve ve sebzelerdeki uygulamaları açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Meyve, Sebze, Aktif ambalajlama, Raf ömrü.

The Use of Active Packaging Technology in Fruits and Vegetables

Abstract

Demand for fresh fruits and vegetables has been increasing in recent years as consumers tend to a healthier lifestyle and foods with high nutritional value. However, fruits and vegetables continue to live after they have been harvested and the rate of many reactions such as respiration and transpiration varies according to the environmental conditions and post-harvest methods applied. The most important goals of post-harvest preservation methods used in fresh fruits and vegetables includes reducing the respiration rate and delaying the microbial spoilage. Whichever method is used, the packaging technology and packaging materials directly affect the shelf life of fresh fruits and vegetables. Traditional packaging technologies include the functions of containment, preservation, communication, and ease of use but the general aim to make these traditional packages is to maintain inert conditions between package and food. In addition, changes in consumers' lifestyles, preference for fresh and additive-free products and retail practices promotes the developments in new packaging technologies. Active packaging, one of these technologies, offers alternative solutions to the food industry by preserving the quality of fruits and vegetables and extending their shelf life with various components (oxygen, carbon dioxide, ethylene scavengers, moisture regulators or antimicrobials) added to the package. Oxygen scavengers slow down the respiration rate by reducing the oxygen concentration in the package and carbon dioxide scavengers are used to prevent the negative changes in the product caused by excess carbon dioxide concentration. Ethylene scavengers are added to packages of climatic fruits to reduce senescence reactions. Moisture regulators are used to avoid unwanted changes in fruits and vegetables due to high humidity in the package. Antimicrobial compounds

* Sorumlu Yazar: mseckinaday@comu.edu.tr

are also used in fruits and vegetables to reduce microbial spoilage and ensure food safety. In this review article, the components used in active packaging are summarized and applications of these ingredients in fruits and vegetables packages are explained.

Keywords: Fruit, Vegetable, Active packaging, Shelf-life.

1. Giriş

Ambalajlama günümüzün gelişmiş toplumlarında çok önemli bir yer tutmaktadır. Özellikle taze meyve ve sebzeler dahil olmak üzere, gıda maddelerinin çoğu ambalajlar içerisinde pazarlandığından, bu sektörde olağanüstü gelişmeler yaşanmaktadır (Lopez-Rubio ve ark., 2004).

Gıda üretim süreçlerinden bir tanesi olan ambalajlama; depolama ve taşıma sırasında gıda ürünlerinin kalitesini çevresel etkenlere karşı korumada önemli bir fonksiyona sahiptir. Çoğu gıdanın kalitesinin nem emilimi, oksijene maruz kalma, istenmeyen koku emilimi ve ambalaj bileşenlerinin gıdaya taşınması gibi kütle aktarım proseslerinden etkilendiği bilinmektedir. Tüm bu olaylar; gıda ile onu çevreleyen atmosfer arasında veya gıda ile ambalaj malzemesi arasında gerçekleştiğinden, kullanılan ambalajlama teknolojisinin gıdanın raf ömrünü doğrudan etkilediği söylenebilmektedir (Galić ve ark., 2011). Gıda ambalajları ayrıca bu koruma fonksiyonuyla birlikte, gıdalar hakkında gerekli bilgileri iletme ve tüketiciye kullanım kolaylığı sağlamayı da amaçlamaktadır (Han, 2014).

Geleneksel gıda ambalajları yukarıda tanımlanan tüm fonksiyonları içermesine rağmen, bu ambalaj malzemelerindeki temel prensip; gıda ile ambalaj arasındaki etkileşimi minimuma indirmek yani mümkün olduğunda inert olmaktır (Rooney, 1995). Geleneksel ambalaj teknolojilerine alternatif olarak geliştirilen yeni teknolojiler ise perakende uygulamalarındaki değişiklikler (pazarın küreselleşmesi sonucu dağıtım süresinin uzaması) veya tüketicilerin yaşam tarzındaki farklılaşmalar (hızlı bir yaşam döngüsü sonucu, pazarda alışverişe veya yemek pişirmeye daha az zaman ayırma) nedeniyle ambalajların daha aktif bir oynamasını sağlamıştır (Lopez-Rubio ve ark., 2004). Bu kapsamda geliştirilen yenilikçi ambalajlama teknolojilerine örnek olarak; biyobozunur polimerler; mikroperfore filmler, akıllı ve aktif ambalaj materyalleri verilebilmektedir. Fakat aktif ve akıllı ambalajlama terimi çeşitli literatürlerde eş anlamlı olarak kullanıldığından, iki terim arasındaki farklılığın netleştirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda akıllı ambalajlama; ambalaj üzerinde yer alan çeşitli indikatörler vasıtasıyla gıdada meydana gelen değişimlerin izlenmesine olanak sağlayan teknolojidir. Aktif ambalajlama ise; gıda ve ambalaj arasında istenen etkileşimlerin meydana gelmesine yardımcı olmak ve raf ömrünü uzatmak amacıyla ambalaja eklenen aktif bileşenlerden meydana gelmektedir (Aday ve Yener, 2014).

Aktif ambalajlamanın kullanıldığı ürün gruplarından bir tanesi olan taze meyve ve sebzeler; yaşlanmayı geciktirmesi, kanser ve akciğer gibi çeşitli hastalıklara yakalanma riskini azaltması gibi sağlık açısından birçok yararlar sunmaktadır (Çağlar ve Demirci, 2018). Özellikle son yıllarda tüketiciler sayılan sağlıkla ilgili endişelerden dolayı diyetlerinde bu tür gıdaların yer almasına çok önem vermektedir (Demirgöl ve Sağdıç, 2018; Garipoğlu, 2019). Fakat meyve ve sebzeler hasat sonrası canlılıklarını devam ettirdiklerinden ve son derece çabuk bozulabilir olmalarından dolayı diğer birçok gıda ürününe kıyasla zorluklar içermektedir. Çünkü ambalaj materyalinin geçirgenlik özellikleriyle, içerdiği ürünün oksijen, karbondioksit veya etilen ihtiyacının eşleştirilmesi zor olduğundan, çeşitli ödünlere verilmektedir. Bu ödünlere vermeme için ambalajların pasif bir

konumda olmaması ve ürünün fizyolojik durumuna yanıt verecek aktif bir konumda olması gerekmektedir (Scully ve Horsham, 2007).

Bu kapsamda aktif ambalajlama özellikle meyve ve sebzelerde kalitenin korunması ve gıda güvenliğinin artırılması amacıyla çeşitli alt dallardan oluşmakta olup, bunlara örnek olarak oksijen tutucular, karbon dioksit tutucu/salıcılar, nem düzenleyiciler, etilen tutucular ve antimikrobiyal ambalajlar verilebilir (Rooney, 1995). Aktif ambalajlama; aktif özellikteki maddenin, kullanılan ambalaj materyalinin polimer matriksinin içerisine veya yüzeyine yedirilmesiyle sağlanabileceği gibi aynı zamanda sakat şeklinde veya şişe kapaklarına eklenmesiyle de sağlanabilmektedir (Dainelli ve ark., 2008).

Aktif ambalajlama konsepti üzerine literatürde birçok çalışma bulunsa da, bu çalışmalar genellikle aktif bileşenlerin ambalaj filmleri üzerindeki etkilerinin incelenmesine yöneliktir. Bu nedenle derleme, aktif ambalajlama teknolojisinin meyve ve sebze sektöründeki potansiyeline odaklanmaktadır. Ayrıca aktif ambalajlama teknolojisine tüketici bakış açısını da değerlendirilmekte olup, konu üzerine olan yasal düzenlemeler hakkında da bilgi vermektedir.

2. Aktif Ambalajlama Bileşenleri

2.1. Oksijen Tutucular

Birçok durumda gıdanın bozulmasına, oksijen sebebiyle gıda bileşenlerinin oksidasyonu veya küfler neden olmaktadır. Gıdalarda gerçekleşen oksidatif reaksiyonlar sonucu; kötü kokular, istenmeyen tatlar, renk değişiklikleri ve besin değerinde düşme gibi olumsuz durumlar meydana gelmektedir. Meyve ve sebzeler özelinde; solunumun hızlanması, askorbik asit kaybı, bozulmaya neden olan mikroorganizmaların gelişmesi, enzimatik ve enzimatik olmayan reaksiyonların gerçekleşmesi bu reaksiyonlara örnek olarak verilebilmektedir (Brody ve ark., 1995). Bu olumsuzluklar nedeniyle oksijene duyarlı gıdalar; modifiye atmosfer paketleme (MAP) veya vakumlu paketleme kullanılarak ambalajlansa da, bu teknolojiler her zaman O₂'yi tamamen ortamdaki uzaklaştıramamaktadır. Ayrıca, çevreden ambalaj filmleri vasıtasıyla ambalaj içerisine giren O₂ bu tekniklerle elimine edilememektedir (Vermeiren ve ark., 1999). Aktif ambalajlamada kullanılan oksijen tutucular ise gıdada çözülmüş olan veya dışarıdan ambalaj içerisine giren oksijeni gidererek oksidatif reaksiyonları geciktirmektedir. Bu kapsamda kullanılan oksijen tutucular; tepe boşluğunda sakat şeklinde veya ambalaj malzemesine/kapaklara doğrudan dahil edilme şeklinde kullanılabilir. Oksijen tutucular; oksijenle reaksiyona girerek, ambalaj içi oksijen konsantrasyonunu azaltan bileşikler olarak tanımlanmaktadır (Brody ve ark., 2008). Bu amaçla kullanılan oksijen tutucular genellikle demir ve demir oksit oksidasyonuna bağlı olarak işlev görmektedir. Bu bileşenler ambalajlanmış gıda tarafından çeşitli fizyolojik reaksiyonlar sonucu üretilen su ile reaksiyona girerler ve hidrate olmuş metalik ajanları meydana getirerek oksijeni tutarlar ve kararlı bir oksite çevirirler. Fakat bu şekilde meydana gelebilecek metalik tatların gıdalara geçmesini önlemek için; askorbik asit, sülfidler, kateşol, askorbat tuzları, etanol oksidaz veya glukoz oksidaz gibi bileşenlerden de yararlanılmaktadır (Han ve ark., 2018). Sakat formu dışında, oksijen tutucular yüksek yoğunluklu polietilen ile

karıştırılmakta ve böylelikle su buharının dışardan içeriye girmesi kolaylaştırılarak oksijen ile aktif bileşenlerin reaksiyonu sağlanmaktadır. Fakat bu şekilde üretilen plastik filmlerin ve laminatların oksijen tutma kapasitesi, sakatlarla karşılaştırıldığında daha düşüktür (Ahmed ve ark., 2017). Bazı özel uygulamalarda ise oksijen tutucuların istenilenden önce reaksiyona girmesini engellemek için içerisine ışığa duyarlı boyalar eklenmekte ve sonrasında ultraviyole ışık altında aktive edilmektedir (Lopez-Rubio ve ark., 2004). Ticari uygulamalardaki mevcut eğilim ise, kazara yırtılmayı takiben saketteki aktif maddenin yutulmasını önlemek için, O₂ tutucuları ambalaj malzemesine dahil etmek şeklindedir (Suppakul ve ark., 2003).

Oksijen tutucularla ilgili taze meyve ve sebzeler üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde, çilek ambalajlarına yerleştirilen oksijen tutucular mikroperfore filmlerle kullanılmış ve sonuç olarak ambalaj içi optimum gaz konsantrasyonuna erişildiği ve buna bağlı olarak çilek kalitesinin oksijen tutucu kullanılmayanlara göre daha iyi olduğu tespit edilmiştir (Kartal ve ark., 2012). Diğer bir çalışmada ise oksijen tutucular domates ambalajlarına yerleştirilmiş ve sonuçlara göre oksijen tutucuların ambalaj içi gaz kompozisyonunun dengeye ulaşma süresini kısalttığı ve modifiye atmosfer ambalajlama uygulamalarında başarıyla kullanılabilceği belirtilmiştir (Charles ve ark., 2003). Hindiba üzerine yapılan ve aktif ve pasif ambalajlamanın ürün kalitesi üzerindeki etkisinin değerlendirildiği çalışmada, oksijen tutucu kullanılan aktif ambalajlama uygulamasının pasif ambalaja göre esmerleşme reaksiyonlarını yavaşlattığı tespit edilmiştir (Charles ve ark., 2008). Aktif ambalajlamanın hindiba üzerindeki mikrobiyal etkinliğinin değerlendirildiği diğer bir çalışmada da oksijen tutucuların *Pseudomonas* ve *Enterobacteria* popülasyonunun gelişimini inhibe ettiği sonucuna varılmıştır (Charles ve ark., 2005). Aday ve Caner (2013) tarafından gerçekleştirilen araştırmada da çilek ambalajlarında oksijen tutucu kullanılmasının, sertlik ve renk değerlerinin korunmasında faydalı olduğu, ayrıca küflenmeyi azalttığı ve duyuşal skorlar bakımından da daha iyi sonuçlar aldığı tespit edilmiştir.

Oksijen tutucuların sakat veya film olarak kullanılması konusunda bazı zorluklar da bulunmaktadır. Aktif bileşenlerin filmlere eklenmesinden sonra, kesme kuvveti ve yüksek basınç gibi film üretimi sırasında meydana gelen etmenler, oksijen tutucuların kapasitelerini yitirmelerine neden olmaktadır. Ayrıca, film işleme sırasında aktif bileşen olarak kullanılan organik bazı bileşenler ekstrüzyon gibi yüksek sıcaklıklarda stabil kalamamaktadır. Diğer bir sorun ise oksijen tutucu sistemlerin polimer matriks içine dahil edilmesinin filmlerin gaz bariyeri, termal ve optik özelliklerini etkilemesidir (Gaikwad ve ark., 2018). Bu nedenlerden dolayı oksijen tutucuların uygulanmasında birçok faktörün dikkate alınması gerekmektedir.

2.2. Karbondioksit Tutucular/Sahıcılar

Ambalaj içerisindeki yüksek karbondioksit seviyeleri genellikle mikrobiyal büyümeyi geciktirmede yararlı bir rol oynamaktadır (Ozdemir ve Floros, 2004). CO₂'nin antimikrobiyal etkisi, gıdalardaki yüksek çözünürlüğü ile ilgilidir ve CO₂ gazı, düşük sıcaklıklarda su ve yağ içeriği yüksek gıdalarda daha fazla çözündüğünden, soğutulmuş koşullar altında saklanan gıdalardaki etkisi daha belirgindir (Lee, 2016). Fakat fazla CO₂ miktarı da ürünleri olumsuz yönde etkilemekte ve ürünlerde tolerans limitlerinin üstüne çıkılması sonucunda renkte değişimler, istenmeyen aroma bileşiklerinin gelişimi veya içsel dokularda parçalanmaların meydana gelmesini sağlayabilmektedir

(Watkins, 2000). Bu nedenle meyve ve sebzelerin solunumla ürettiği CO₂ miktarının, ambalajdan çıkması gereken CO₂ miktarıyla iyi eşleşmesinin sağlanması (Lee, 2016) ve bu şekilde CO₂ miktarının ambalaj içinde optimum seviyelerde tutularak, meyve ve sebzelerin solunum hızının azaltılması ve etilen üretiminin yavaşlatılması gerekmektedir (Ozdemir ve Floros, 2004). Ambalajdan çıkması gereken CO₂ ile solunumda üretilen CO₂'nin iyi eşleştirilememesi durumunda kullanılabilcek alternatif bir yöntem de karbondioksit tutucuların kullanımudur. Karbondioksit tutucular genellikle kalsiyum hidroksit, sodyum hidroksit, potasyum hidroksit veya silika jel içermekte olup, karbondioksitin hidroksitlerle reaksiyonu sonucu karbonatlar meydana gelmektedir (Day ve Potter, 2011). Bu bileşenler dışında aktif kömür, zeolit ve magnezyum oksit'te CO₂ tutucu özelliğe sahiptir. Fakat aktif kömür ve zeolit, neme eğiliminin CO₂'ye göre daha fazla olması, bu bileşenlerin sadece düşük nem koşullarında iyi işlev görmesini sağlamaktadır (Ozdemir ve Floros, 2004). Aktif karbonun ucuz ve erişimi kolay olan meyve kabuklarından da üretilebilir olması, kullanım potansiyelini artırıcı diğer bir etmen olarak göze çarpmaktadır (Açışlı, 2019).

Gıda ambalajı için kullanılan birçok plastik filmin karbon dioksit geçirgenliği, oksijenden daha fazla olduğundan, ambalajın içindeki karbondioksitin çoğu genellikle film vasıtasıyla dışarı çıkmaktadır. Bu nedenle ambalaj filminin karbondioksit geçirgenliğinin yüksek olduğu durumlarda, solunum hızını azaltmak ve mikrobiyal büyümeyi bastırmak için bir karbondioksit yayan sistem de gerekli olabilmektedir (Ozdemir ve Floros, 2004). Ambalajlarda CO₂ salıcıların kullanılması sonucunda; ambalaj tepe boşluğunda bulunan CO₂ seviyesi korunarak, ambalaja daha fazla ürün konması sağlanabilecek ve bu şekilde kullanılacak ambalaj sayısında azalmaya gidilebilecektir. Ayrıca iyi ayarlanmış bir karbondioksit salınımı, depolamanın ilk aşamalarında gıda ürünü tarafından gerçekleştirilen CO₂ emilimini telafi ettiğinden ambalaj deformasyonunu da önleyebilecektir (Yıldırım ve ark., 2018). CO₂ salınımı sağlayan sakatlerin içerisinde genellikle demir karbonat bulunmakta olup, reaksiyonların metal karbonatların asidik ortamda çözünmesi ve daha sonra karbon dioksit salınımını sağlamasına dayandığı düşünülmektedir (Vilela ve ark., 2018). Bazı durumlarda ise, sakatlar hem O₂ tutarken hem de eşzamanlı olarak CO₂ salmaktadır. Bu tür sistemler, demir karbonat ya da askorbik asit ve sodyum bikarbonat karışımından meydana gelmektedir. Bu O₂ tutucular/CO₂ salıcılar, esas olarak ambalaj hacmi ve ambalaj görünümünün önemli olduğu ürünlerde kullanılmaktadır (Vermeiren ve ark., 1999). Bu konu üzerine yapılan çalışmada, sodyum askorbat, sodyum bikarbonat, sodyum karbonat-10-hidrat ve demir sülfat-7-hidrat, oksijenin etkili bir şekilde uzaklaştırılmasını sağlamış ve karbondioksiti serbest bırakmayı başarmıştır. Çalışmada kullanılan tüm bileşenlerin GRAS statüsündeki katkı maddeleri olmasından dolayı, bu bileşenlere dayalı formülasyonların gıda ambalajı için güvenli olduğu vurgulanmıştır (Huang ve ark., 1999). Demir karbonat ve askorbik asitten oluşan aktif bileşenin ise 1:1 oranında CO₂ üretip, O₂ tükettiği saptanmıştır (Hurme ve ark., 2002).

Karbondioksit tutucuların meyve ve sebzelerdeki uygulamalarına bakıldığında, Aday ve ark. (2011) tarafından yapılan çalışmada çileklerin kalitesinin korunması amacıyla ambalaja eklenen CO₂ tutucuların, denge atmosfer koşullarının oluşumuna katkı sağladığı ayrıca pH, suda çözünür kuru madde ve renk değişimlerini kontrol grubuna göre azalttığı saptanmıştır. Armutlar üzerinde CO₂ tutucuların etkinliğinin değerlendirildiği diğer bir araştırmada da, ambalaj içi karbondioksit seviyelerinin

başarıyla düşürüldüğü, renk ve tekstür bakımından da örneklerin kalitesinin korunduğu belirlenmiştir (Nugraha ve ark., 2015). Veasna ve ark. (2012) tarafından patlıcanda 1-MCP ile birlikte uygulanan CO₂ tutucunun ürünün bozulmasını geciktirdiğini, ayrıca iç ve dış soğuk zararlanması indeksini de azalttığı tespit edilmiştir. Yüksek CO₂ konsantrasyonlarına duyarlı olan Shiitake mantarları üzerine yapılan çalışmada, CO₂ tutucu içeren bir MAP sisteminin, O₂ konsantrasyonunu yaklaşık % 9'da ve CO₂ konsantrasyonunu da % 1-4'te tutarak bozulma reaksiyonlarını yavaşlattığı rapor edilmiştir (An, 2016).

Gıdalar tarafından gerçekleştirilen CO₂ üretiminin basit bir süreç olmaması, zamanla ve diğer koşullarla değişen bir süreç içermesi nedeniyle, CO₂ tutucuların uygulanmasında çeşitli zorluklarla karşılaşmaktadır. Ayrıca, gıdanın türüne, modifiye atmosfer gibi ambalaj koşullarına ve diğer emicilerin mevcudiyetine bağlı olarak ambalajlarda CO₂'nin emilimi; su buharı ve diğer gazlara da bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle CO₂ tutucu sistemlerin optimizasyonu; gıda, ambalaj malzemesi, tutucu ve çevre arasındaki etkileşimlere doğrudan bağlantılı olduğundan CO₂'nin çözünmesi, absorpsiyonu ve geçirgenlik parametrelerinin iyi biçimde ayarlanması gerekmektedir (Lee, 2016).

2.3. Etilen Tutucular

Meyvelerin olgunlaşması bir seri biyokimyasal, fizyolojik ve yapısal değişimlere bağlı olup, bu değişiklikler ürünün tüketiciye daha alınabilir görünmesini sağlamaktadır. Bu reaksiyonlar her meyvede farklı seyir izlese de esas olarak, meyvelerin klimakterik olup olmamalarına göre değişmektedir. Klimakterik ürünlerde etilen üretimi keskin bir yükselme göstermekte ve bunun sonucunda da renk, aroma, tekstür ve diğer biyokimyasal gelişmeler meydana gelmektedir. Klimakterik olmayan ürünlerde ise biyokimyasal değişimler etilenden bağımsız gerçekleşmektedir (Lelièvre ve ark., 1997). Bitkisel hormon olarak bilinen etilen; olgunlaşma dışında kaliteyi de etkilemekte ve en önemlisi solunum hızı üzerine etki ederek yumuşama ve yaşlanma reaksiyonlarının artmasına neden olmaktadır. Ayrıca etilen; marulda kahverengileşme, bezelyede sarılaşma, havuçta acı tat oluşumu veya kuşkonmazda sertleşme gibi fizyolojik bozuklukları meydana getirmektedir (Gavara ve ark., 2009). Bazı durumlarda ise etilenin pozitif etkisinden de bahsedilebilmekte olup, narenciye ürünlerde olgunlaşmada istenilen bir faktör olarak göze çarpmaktadır. Fakat, genel olarak bakıldığında ürünlerin görsel ve organoleptik kalitesinin korunması için, ambalaj içerisindeki etilen oluşumunun azaltılması gerekmektedir (Vermeiren ve ark., 1999).

Ambalajdaki etilen miktarının ayarlanması için yaklaşımlar üç ana tipe ayrılabilir: birincisi, etilenin azaltılması (modifiye atmosfer paketleme yoluyla tepe boşluğundaki gazları değiştirme); ikinci olarak, mikroperfore ambalaj malzemesinin kullanılması (gazların ambalajın içine ve dışına nüfuz etmesi için mikro delikli ambalaj malzemeleri kullanma); ve üçüncü olarak, etilenin uzaklaştırılması (etilen tutucu kullanma) (Gaikwad ve ark., 2020). En iyi bilinen, ucuz ve yaygın olarak kullanılan etilen tutma sistemi, silika içine gömülmüş potasyum permanganattan oluşmaktadır. Silika etileni emmekte ve potasyum permanganat ise onu etilen glikole okside etmektedir. Silika, etilenin tutulması için oldukça geçirgen bir saket içinde tutulmakta veya bir ambalaj filmine dahil edilebilmektedir. Bununla birlikte, potasyum permanganatın, toksisitesinden dolayı ambalaj filmlerinin gıda ile temas eden yüzeylerine entegre edilmemesi gerekmektedir (Zagory, 1995). Bu tutucularda permanganat içeriği % 4 ile % 6

arasında değişmekte olup, potasyum permanganat etileni oksitledikten sonra rengi mordan kahverengiye değişmektedir (Prasad ve Kochhar, 2014). Etileni absorbe etmek için mevcut başka bir sistem, zeolitin potasyum permanganat ile birleştirilmesi ve ardından zeolitin bir kuaterner amonyum katyonu ile kaplanmasına dayanmaktadır. Bu sistem sadece ortamdan etileni absorbe etmekle kalmamakta, aynı zamanda benzen, toluen ve ksilen gibi diğer organik bileşikler de absorbe edebilmektedir (Ozdemir ve Floros, 2004). Bu sistemlere ek olarak; paladyumun, yüksek bağıl nem durumlarında permanganat bazlı tutuculardan daha yüksek bir etilen tutucu kapasitesine sahip olduğu tespit edilmiştir. Kömür ile paladyum kullanımı etilen birikimini önlemede etkili bulunmuştur (Pereira de Abreu ve ark., 2012).

Etilen tutucuların meyve ve sebzelerdeki uygulamalarına bakıldığında, Abe ve Watada (1991) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, etilen tutucu olarak paladyum klorür ile birlikte kullanılan kömürün, taze kesilmiş muzlarda etilen üretimini yavaşlatarak, yumuşamayı azalttığı ve 20°C sıcaklıkta 3 günlük depolama sırasında etilen gazının çoğunun emilmesinde etkili olduğu tespit edilmiştir. Diğer bir çalışmada ise paladyumla modifiye edilmiş zeolitin muzun olgunlaşmasını geciktirdiği, sertliğini ve meyvenin kabuk rengini önemli ölçüde koruduğu saptanmıştır (Tzeng ve ark., 2019). Kaewklin ve ark. (2018) tarafından, domateslerinin kalitesini korumak amacıyla geliştirilen nano-TiO₂ ile birleştirilmiş kitosan bazlı etilen tutucu filmlerin, etilenin fotokatalitik degradasyona uğramasını sağladığı ve domatesin saklama süresini uzattığı tespit edilmiştir. Kivilerde de olgunlaşma sürecinin potasyum permanganat bazlı etilen tutucularla geciktirilerek, sertlik kaybının, klorofil parçalanmasının ve titrasyon asitliğinin korunmasının sağlandığı belirlenmiştir (Bal ve Celik, 2010).

Etilen tutucuların taze ürünlerin kalitesini korumada etkili olduğu çalışmalarla gösterilse de, güvenlik endişeleri ve sınırlamaları dikkate alınmalıdır. Öncelikle, saket formunda kullanılan tutucular üzerine gerekli uyarılar eklenerek, tüketiciler tarafından yanlışlıkla tüketilmesinin önüne geçilmelidir. Özellikle KMnO₄ kullanıldığında migrasyon olasılığı düşünüldüğünde, gerekli testlerin yapılması gerekmektedir. Son olarak ise etilen tutucu ambalajlamanın yaratacağı maliyet göz önüne alınarak, tüketici tarafından bu maliyet artışının kabul edilebilirliği araştırılmalıdır (Gaikwad ve ark., 2020).

2.4. Nem Düzenleyiciler

Gıda ambalajlarındaki aşırı nemin kontrolü, ürünlerdeki mikrobiyal büyümeyi baskılamak ve ambalaj filmi üzerindeki buğulanmayı önlemek için önemlidir (Gavara ve ark., 2009). Eğer ambalajın nem buharı geçirgenliği düşükse, ambalajın içindeki nem birikimi daha belirgin konuma gelmektedir. Bir gıda ambalajı içinde oluşan nem, genellikle taze ürünün solunumu ve sıcaklık dalgalanmaları nedeniyle oluşabilmektedir (Ozdemir ve Floros, 2004). Eğer bu nem ortamdan uzaklaştırılmazsa, bu nem ürün tarafından emilmekte veya yoğunlaşma oluşmakta ve mikrobiyal bozulmaya ve/veya düşük tüketici çekiciliğine neden olmaktadır (Vermeiren ve ark., 1999). Bu tür uygulamalarda, antifog adı verilen katkılar ambalaj filmine eklenerek, yoğunlaşmış su ile film arasındaki yüzey gerilim azaltılmaktadır. Bu durum, filmin şeffaflığına katkıda bulunmakta ve tüketicilerin ambalajlanmış gıdaları net bir şekilde görmesine izin vermektedir. Ancak, bu katkılar ambalaj içinde bulunan su miktarını etkilememektedir (Pereira de Abreu ve ark., 2012). İşte gıdalarda nem dolayısıyla gerçekleşen istenmeyen reaksiyonları önlemek ve tepe

boşluğunda istenen bağıl nemi sağlamak için, uygun nem buharı geçirgenliğine sahip bir film kullanabilmekte veya nem düzenleyici bileşenlerden yararlanılabilmektedir. Ambalaj içi nemin düzenlenmesinde silika jel, doğal kil (montmorillonit), kalsiyum oksit, kalsiyum klorür ve modifiye nişasta gibi çeşitli nem tutuculardan yararlanılmaktadır (Bodbodak ve Rafiee, 2016). Nem tutma özeliğindeki bu bileşenler, iki veya daha fazla mikro gözenekli polimerik malzeme katmanından oluşan pedlerde bulunabileceği gibi, sakat formunda da kullanılabilmektedir (Vermeiren ve ark., 1999). Nem düzenleyici türünün seçimi; gıdanın boyutuna ve ağırlığına ve başlangıçtaki su aktivitesine, ambalajın su buharı geçirgenlik özelliğine, depolama sıcaklığı ve nemine, gıdanın neme duyarlılığına ve istenilen raf ömrüne bağlı olarak değişmektedir (Pereira de Abreu ve ark., 2012).

Nem düzenleyicilerin meyve ve sebzelerdeki uygulamalarına bakıldığında; Shirazi ve Cameron (1992) tarafından yapılan çalışmada 20°C'de NaCl içeren bir sakat ile ambalajlanmış domateslerin raf ömrü, esas olarak yüzeyde küf büyümesinin gecikmesi nedeniyle 5 günden, 15-17 güne kadar uzatılmıştır. Diğer bir çalışmada (Bovi ve ark., 2018), çilekler paket içerisindeki nemin düzenlenmesi amacıyla fruktoz içeren film ile ambalajlanmıştır. Sonuçlara göre ambalaj içerisinde yoğunlaşma minimum düzeyde gerçekleşmiş ve ağırlık kaybı da % 1 değerinin altına çekilmiştir. Etilen tutucu ve nem düzenleyicinin (sorbitol) birlikte brokoli ambalajlarında kullanıldığı çalışmada (DeEll ve ark., 2006), sorbitolün MAP ile kullanılmasının, brokolilerde daha iyi görünüş ve sertlik sağladığı bu nedenle kaliteyi koruyarak, pazarlanabilirlik sürecini artırdığı belirlenmiştir. Mantarlarda nem düzenleyici olarak kullanılan sorbitolün raf ömrünü artırdığı ancak yüksek sorbitol miktarlarının ise ağırlık kaybını yükselttiği tespit edilmiştir (Roy ve ark., 1995).

Nem tutucular genel olarak değerlendirildiğinde, organik bazlı olanların maliyetinin yüksek ve tutucu kapasitesinin ise inorganik bazlılara göre düşük olduğu bildirilmektedir. Bu nedenle istenen etkinin sağlanması için büyük sakat şeklinde kullanılması çeşitli problemler oluşturabilmektedir. Ayrıca sakat biçiminde kullanılan materyallerin ambalajlanmış gıdanın bazı bileşimsel ve duysal özelliklerini de etkileme potansiyeli bulunduğu dikkatli seçilmesi gerekmektedir (Gaikwad ve ark., 2019).

2.5. Antimikrobiyal Bileşenler

Gıda güvenliği ve gıda kalitesi; gıda sanayisi, hükümetler ve tüketiciler için endişe yaratan başlıca konulardandır. Gıdaların bozulmasına neden olan faktörlerden en önemlisi olan mikrobiyal bozulma hem ürünün genel kalitesine ve hem de tüketici güvenliğine zarar vermektedir. Çünkü, bazı mikroorganizmalar ve toksinleri ciddi gıda kaynaklı salgınlara neden olabilmektedir (Aksoy, 2020). Gıdalarda kontaminasyon, su ve toprak kaynaklı olabileceği gibi, taşıma ve ürünün işlenmesi sırasında da meydana gelebilmektedir (Recep ve ark., 2019). Hasat sonrası meydana gelen bulaşmalar, en fazla taze meyve sebze gibi pişmemiş gıdalarda daha fazla risk oluşturmaktadır (Sağdıç ve ark., 2020). Bu nedenle gıdaların bozulmasını önlemek ve gıda raf ömrünü uzatmak için çeşitli tedbirler geliştirilmektedir. Bu tedbirlerden bir tanesi ise, ambalaj materyalinin mikrobiyal büyümeyi geciktirmek ve koruyucu bir bariyer oluşturmak üzere antimikrobiyallerle güçlendirilmesidir (Corrales ve ark., 2014). Bu kapsamda çeşitli yabancı bitkilerden ve baharatlardan elde edilen ve bakteri, fungus ve virüslere karşı etkisi tespit edilen birçok bileşen bulunmaktadır (Akarca ve Tomar, 2019; Tomar ve Akarca, 2019). Bu bileşenlere örnek olarak tarçın, kırmızı biber, karanfil, kekik, biberiye, kekik,

soğan ve sarımsak gibi gıdalardan elde edilen özler verilebileceği gibi, fungal veya bakteri kaynaklı olan nisin, natamisin, pediosin ve çeşitli bakteriyosinler de bulunabilmektedir (Biji ve ark., 2015). Antimikrobiyal ambalajlama olarak adlandırılan bu teknik; a)Antimikrobiyal ajan içeren sakat veya pedlerin ambalaj içerisine yerleştirilmesiyle, b)Uçucu veya uçucu olmayan antimikrobiyallerin polimerlere yedirilmesiyle, c)Antimikrobiyallerin polimer yüzeyine tutturulması veya kaplanmasıyla, d)Antimikrobiyallerin polimerlere iyon veya kovalent bağlarla immobilizasyonu veya e)Doğası gereği antimikrobiyal özellik gösteren polimerlerin kullanılmasıyla sağlanmaktadır (Appendini ve Hotchkiss, 2002).

Bu yöntemlerin ilki olan sakatların kullanımı; gıda kaynaklı mikroorganizmalara karşı iyi antimikrobiyal aktivitelere sahip uçucu bileşiklerin sakatlere dahil edilmesi ve ardından salınması yoluyla gerçekleşmektedir. Sakatlere dahil edilen antimikrobiyal bileşikler arasında etanol, klor dioksit ve çeşitli bitki esansiyel yağları ve bunların ana aktif bileşenleri yer almaktadır. Sakatlere benzer şekilde, antimikrobiyal olarak aktif bileşenlerin emici pedlerde kullanımı konusunda da çalışmalar bulunmaktadır (Otoni ve ark., 2016). Gaz formunda kullanılan antimikrobiyal bileşenlerin uçucu özelliği sebebiyle gıdanın tüm yüzeyine temas etmesi, ürünlerdeki etkinliğini daha da artırmaktadır (Harun ve Çetin, 2018).

İkinci yöntem olarak kullanılan, antimikrobiyallerin polimerlere yedirilmesinde; nisin, sorbat, glukoz oksidaz, propiyonik, benzoik asit ve gümüş gibi bileşenlerden yararlanılmaktadır (Hotchkiss, 1997). Bu bileşenlerden gıda katkı maddesi olarak da kabul edilen nisin, en önemli bakteriyosinlerden bir tanesi olup, birçok bakteriyi inhibe ederek, gıdaların raf ömrünün artırılmasında kullanılmaktadır (Demirgül ve Sağdıç, 2017). Antimikrobiyallerin polimerlere yedirilmesiyle özellikle gıda yüzeyindeki bozulmaların önlenmesi amaçlanmaktadır. Bu yaklaşımla birlikte gıdalara eklenen antimikrobiyallerin de azaltılması sağlanabilmektedir (Appendini ve Hotchkiss, 2002). Fakat, polimerlere aktif maddelerin dahil edilmesi polimer kimyasını değiştirerek oksijen geçirgenliği, çekme mukavemeti ve salınım gibi özellikleri değiştirmektedir (Balasubramanian ve ark., 2009).

Antimikrobiyallerin polimer yüzeyine tutturulması veya kaplanmasında ise genellikle polimer işlemede kullanılan sıcaklıkları tolere edemeyen bileşikler kullanılmaktadır. Bu bileşenlerden; ambalaj yüzeyine mikrobiyal kontaminantların yapışmasını önlemek veya tam tersi olarak da eğer yapışma gerçekleştiyse onları yüzeyden uzaklaştırmak amacıyla yararlanılmaktadır. Protein bileşiklerin yüzeylerde oldukça aktif olması nedeniyle nisin gibi bileşenler yüzey kaplanmasında önemli yer tutmaktadır (Daeschel ve ark., 1992).

Antimikrobiyallerin polimerlere iyon veya kovalent bağlarla immobilizasyonunda, hem polimerlerde hem de kullanılan antimikrobiyallerde fonksiyonel grupların bulunması zorunludur. Fonksiyonel gruplara sahip antimikrobiyallere örnek olarak peptitler, enzimler, poliaminler ve organik asitler verilebilmektedir. Fonksiyonel gruplara ek olarak, bu yöntemde polimer yüzeyini biyoaktif maddeye bağlayan çeşitli moleküllerin kullanımı da gerekebilmektedir. Bu moleküller yeterli hareket serbestliğine izin vererek, antimikrobiyal bileşenlerin aktif kısmının gıda yüzeyindeki mikroorganizmalarla temas etmesini sağlamaktadır (Appendini ve Hotchkiss, 2002).

Antimikrobiyal ambalajlamanın uygulanmasında son yöntem ise doğası gereği antimikrobiyal özellik gösteren polimerlerin

kullanılmasıdır. Antimikrobiyal polimerler, bir yüzeyde veya onu çevreleyen ortamda mikroorganizmaların büyümesini inhibe edebilen malzemelerdir. Kitosan, dördüncül azot grupları içeren bileşikler ve halaminler, antimikrobiyal aktivite gösterme konusunda doğal bir kapasiteye sahip bileşenlere örnek olarak verilebilmektedir (Jain ve ark., 2014). Bu bileşenler arasında en fazla çalışılan materyal olan kitosan, kabuklu deniz hayvanlarından elde edilmekte olup, molekül ağırlığı veya polimerizasyon derecesine göre farklı özellikler göstermektedir (Demirci ve ark., 2017).

Antimikrobiyal bileşiklerin meyve ve sebzelerdeki uygulamalarına bakıldığında, Popa ve ark. (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, yaban mersini ambalajlarında sakat şeklinde kullanılan klor dioksitin, mezofilik aerobik bakteri, koliform, E.coli, maya ve küf sayısını inhibe etmede başarılı olduğu bulunmuştur. Li ve ark. (2017) tarafından yapılan çalışmada ise ZnO nanopartikülleri antimikrobiyal amaçlı polilaktik asit matriksine dahil edilip taze kesilmiş elmalarındaki etkinliği incelenmiştir. Sonuçlara göre bu ambalaj materyalinin, elmanın sertlik, toplam fenolik içerik ve rengini koruduğu, ayrıca toplam bakteri ve maya küf sayısını azaltmada etkili olduğu tespit edilmiştir. Çinko oksitin ayrıca E. Coli üzerinde de inhibe edici etkisi bulunmasına rağmen, bu bileşiğin ağır metal grubuna girmesi nedeniyle, sağlık açısından potansiyel olumsuz etkilerinin daha detaylı incelenmesi gerekmektedir (Esmeray ve Özata, 2019). Patateslerin ambalajlanmasında kullanılan şirink film üzerine kaplanan silikon dördüncül amonyum tuzlarının depolama sırasında olumlu veya olumsuz bir etkisi görülmemiş fakat ambalajlama öncesi patateslerin % 0.5 sodyum hipoklorit çözeltisine daldırılmasının hastalıkları azalttığı tespit edilmiştir (Shetty ve Dwelle, 1990). Kitosanın antimikrobiyal etkisinin dilimlenmiş mango meyvesinde araştırıldığı çalışmada, kontrol grubuna göre kitosanın toplam canlı sayısını azaltmada etkili olduğu saptanmıştır. Ayrıca kitosan konsantrasyonunun artmasının inhibe ediciliği değiştirmediği belirlenmiştir (Chien ve ark., 2007). Taze kesilmiş mantarlar üzerine kitosanın etkisinin incelendiği diğer bir çalışmada ise kitosan konsantrasyonunun artmasıyla küf ve maya sayısında azalmanın daha belirginleştiği rapor edilmiştir (Eissa, 2007).

Antimikrobiyal ambalajlamada karşılaşılan en önemli zorluklardan bir tanesi mikrobiyal büyüme kinetiği ile kontrollü salınım hızı arasındaki dengenin kurulmasıdır. Ayrıca salınım antimikrobiyal ajanın konsantrasyonunu seçimi de önemlidir. Eğer düşük olursa istenen etki görülemez, yüksek olursa ise duyuşsal veya toksikolojik özellikler bakımından olumsuzluklar yaşanabilmektedir (Mousavi Khaneghah ve ark., 2018). Bunun yanında, antimikrobiyal ajanların polimere doğrudan eklenmesi ise ekstrüzyon gibi yüksek sıcaklıklarda, salınım hızını ve aktif ajanların stabilitesini etkilemektedir. Polimerlere eklenen dolgu maddeleri, buğu önleyiciler, antistatik maddeler, kayganlaştırıcılar, stabilizatörler ve plastikleştiriciler de antimikrobiyal polimerlerin aktivitesini olumsuz etkileyebilmektedir (Appendini ve Hotchkiss, 2002). Bu nedenle, iyi bir antimikrobiyal ambalaj tasarımı için; doğru antimikrobiyal ajanın doğru ambalaj materyali ve gıda için seçilmesi gerekmektedir. Bu sayede; ambalaj ile gıda arasında iyi bir etkileşim sağlanarak, istenilen düzeyde bir antimikrobiyal salınım gerçekleştirilebilir (Quintavalla ve Vicini, 2002).

3. Tüketicinin Aktif Ambalajlamaya Bakışı ve Yasal Düzenlemeler

Yeni ambalajlama teknolojileri, tüketici taleplerine ve endüstri eğilimlerine tatmin edici yanıtlar veren çözümler üretmektedir. Fakat sağladıkları bir çok faydaya rağmen, bu tür teknolojilerin gıda ürünlerinde tam ölçekli olarak benimsenmesi ve uygulanmasının önünde ambalaj bileşenlerinin gıda ile temasının uygunluğu, çevresel sürdürülebilirlik ve özellikle tüketiciler tarafından kabul edilebilirliği bakımından çeşitli sorunlar bulunmaktadır (Li ve ark., 2020). Çünkü tüketicilerin kafalarında, kullanılan bileşenlerin zararlı olup olmadığı konularında endişeler yer almaktadır (Bodobodak ve Rafiee, 2016). Bununla birlikte, yenilikçi konseptleri kabul etme sözü konusu olduğunda tüketiciler bazen tutucu olabilmektedir. Ayrıca tüketicilerin herhangi yeni bir teknolojiye yönelik görüşü heterojen olabilmekte ve tutumlar, teknolojinin özelliklerine, teknoloji neofobisinin düzeyine veya tüketicinin diğer teknolojilerle olan ilişkilerine bağlı olarak değişebilmekte, bu nedenle farklı teknolojiler farklı tepkiler alabilmektedir (O'Callaghan ve Kerry, 2016). Aktif ve akıllı ambalajlamanın tüketici tarafından kabulü konusunda yapılan çalışmada, Türkiye'deki tüketicilerin çoğunun mikrobiyal bozulmayı önlemek için yenilikçi ambalajlama uygulamalarını kullanmak istediği fakat sakat biçimde kullanılan aktif bileşenlerin yanlışlıkla tüketilebilme ihtimali nedeniyle istenmediği saptanmıştır. Ayrıca tüketicilerin, kullanılan yenilikçi ambalajların pozitif etkilerinin görülmesi halinde % 10'a kadar bir fiyat artışı kabul edebilecekleri belirtilmiştir. Son olarak ise tüketiciler çeşitli vasıtalarla gerçekleştirilecek bilgilendirici faaliyetlerin yenilikçi ambalajların tüketiciler tarafından kabul edilebilirliğini artıracakları bildirmişlerdir (Aday ve Yener, 2014). Mikkola ve ark. (1997) tarafından yapılan çalışmada ise tüketicilerin % 72'sinin gıda ambalajlarında kullanılan oksijen sakatlerine olumlu baktığı bildirilmiştir. Aynı tüketicilerin % 40'ının oksijen tutucu içeren ambalajlara 10 peni daha fazla verebileceği saptanmıştır. Slovak tüketiciler üzerine (Loucanova ve ark., 2017) tarafından yapılan çalışmada 41-50 yaş arasındaki tüketicilerin aktif ve akıllı ambalajlama konusunda hedef segment olduğu ve bu yaş aralığının yukarıdaki tüketicilerin aktif ambalajlama fonksiyonlarına daha önem verirken, aynı yaş aralığının altındaki tüketicilerin ise akıllı ambalajlamaya önem verdiği saptanmıştır. Roberts, (2003) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise tüketicilerin ambalaj filmlerine yedirilen aktif bileşenleri, sakat teknolojisine göre daha fazla tercih ettiği, ayrıca Avrupadaki tüketicilerin Japon tüketicilere göre sakat teknolojisine olan direncinin daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Barska ve Wyrwa (2016) tarafından Polonyalı tüketiciler üzerine yapılan ankette ise, aktif ambalajlama teriminin sadece % 4'lük bir kısım tarafından bilindiği, % 68'lik bir kısmın ise geçerli tanım verildikten sonra aktif ambalajlama teknolojisi kullanılan gıdaları tüketmek istediği saptanmıştır. Çinli tüketicilerin aktif ve akıllı ambalajlama teknolojilerine bakış açısının incelendiği çalışmada (Li ve ark., 2020) ise, günümüzde geçerli olan ambalajlama teknolojilerinin tüketici memnuniyetini sağlamada yetersiz olduğu belirlenmiştir. Ayrıca çalışmaya katılan tüketicilere aktif ve akıllı ambalaj teknolojilerine bakış açıları sorulduğunda, yarısının bu teknolojileri kabul edilebilir bulduğu saptanmıştır.

Yasal düzenlemeler açısından bakıldığında ise Avrupa Birliği ülkelerinde aktif ve akıllı ambalaj uygulamaları (EC) 1935/2004 ve 450/2009 yönetmelikleriyle düzenlenmiştir. Bu yönetmeliklere göre (Pereira de Abreu ve ark., 2012);

- Kullanılan bileşenler amaçlanan hedefler için etkili ve uygun olmalıdır.
- Kullanılan bileşenler iyi üretim uygulamalarına uygun olarak üretilmeli ve insan sağlığına zararsız olmalıdır. Ayrıca gıdanın bileşimi veya duyuşal özelliklerinde değişime neden olmamalıdır.
- Kullanılan bileşenlerin etiketlenmesi, gösterimi veya reklamı tüketiciyi yanıltmamalı ve bu bileşenler gıdanın bozulması durumunda meydana gelen değişimleri maskelememelidir.
- Gıdayla temasta olmaması durumunda bile, aktif bileşen tarafından salınan bileşimin ismi ve miktarı belirtilmelidir.
- Sadece bu konuda izin verilen maddeler kullanılmalı, bu bileşenler mutajenik, karsinojenik veya toksik olmamalıdır.
- Tüketicinin yememesi için bu bileşenlerin üzerine “YENİLMEZ” ibaresi eklenmeli ve bu ibare görülebilir olmalıdır (Pereira de Abreu ve ark., 2012).

4. Sonuç

Geleneksel ambalajlama teknolojilerinin gıdaların kalite özelliklerini koruma ve raf ömrünü uzatma konusunda yetersiz kalması nedeniyle, tüketiciler gıda güvenliğini daha iyi sağlayan etkili ambalajlama teknolojilerine yönelmektedir. Bu teknolojilerden bir tanesi olan aktif ambalajlamada kullanılan oksijen, karbondioksit ve etilen tutucular, nem düzenleyiciler ve antimikrobiyal bileşenler gıdaların besinsel ve duyuşal kalitesini korumakta ayrıca patojenik ve bozulma etmeni olan mikroorganizmaları da inhibe etmektedir. Bununla birlikte ambalaj filmlerinde bu bileşenlerden yararlanmak, gıda güvenliğini sağlama amaçlı kullanılan katkı maddelerin kullanımını da azaltmak için yeni bir yaklaşım sunmaktadır. Özellikle taze meyve ve sebzeler gibi birçok fizyolojik (solunum-terleme), kimyasal (oksidasyon) ve mikrobiyolojik proseslerden etkilenen ürün gruplarında bu teknolojinin kullanılmasıyla gıdalar daha uzun mesafelere ulaştırılabilecek ve perakende noktalarında daha uzun süre bozulmadan kalabilecektir.

Kaynakça

- Abe, K., & Watada, A.E. (1991). Ethylene absorbent to maintain quality of lightly processed fruits and vegetables. *Journal of Food Science*, 56(6), 1589-1592.
- Açışlı, Ö. (2019). Doum palm meyve kabuklarından aktif karbon üretimi ve karakterizasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 16, 544-551.
- Aday, M.S., & Caner, C. (2013). The shelf life extension of fresh strawberries using an oxygen absorber in the biobased package. *LWT-Food Science and Technology*, 52(2), 102-109.
- Aday, M.S., Caner, C., & Rahvalı, F. (2011). Effect of oxygen and carbon dioxide absorbers on strawberry quality. *Postharvest Biology and Technology*, 62(2), 179-187.
- Aday, M.S., & Yener, U. (2014). Understanding the buying behaviour of young consumers regarding packaging attributes and labels. *International Journal of Consumer Studies*, 38(4), 385-393.
- Ahmed, I., Lin, H., Zou, L., Brody, A.L., Li, Z., Qazi, I.M., Pavase, T.R., & Lv, L. (2017). A comprehensive review on the application of active packaging technologies to muscle foods. *Food Control*, 82, 163-178.

- Akarca, G., & Tomar, O. (2019). Afyonkarahisar ili çevresinde yetişen ve halk tarafından tüketilen bazı yabancı bitkilerin antioksidan ve antimikrobiyal etkileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(15), 259-268.
- Aksoy, A. (2020). Gıda endüstrisinde elektrolize su kullanımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 19, 254-262.
- An, D.S. (2016). Effect of active master packaging system on preservation of fresh shiitake mushrooms in supply chain. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 45(3), 402-408.
- Appendini, P., & Hotchkiss, J.H. (2002). Review of antimicrobial food packaging. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 3(2), 113-126.
- Bal, E., & Celik, S. (2010). The effects of postharvest treatments of salicylic acid and potassium permanganate on the storage of kiwifruit. *Bulg. J. Agric. Sci*, 16(2), 576-584.
- Balasubramanian, A., Rosenberg, L.E., Yam, K.I.T., & Chikindas, M.L. (2009). Antimicrobial packaging: potential vs. reality—a review. *Journal of Applied Packaging Research*, 3(4), 193-221.
- Barska, A., & Wyrwa, J. (2016). Consumer perception of active intelligent food packaging. *Problems of Agricultural Economics*, 4(349), 138-159.
- Biji, K.B., Ravishankar, C.N., Mohan, C.O., & Gopal, T.K.S. (2015). Smart packaging systems for food applications: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 52(10), 6125-6135.
- Bodobodak, S., & Rafiee, Z. (2016). Recent trends in active packaging in fruits and vegetables. In: *Eco-friendly technology for postharvest produce quality*, M. W. Siddiqui (Eds.), Elsevier, New York, 77-125.
- Bovi, G.G., Caleb, O.J., Klaus, E., Tintchev, F., Rauh, C., & Mahajan, P.V. (2018). Moisture absorption kinetics of FruitPad for packaging of fresh strawberry. *Journal of Food Engineering*, 223, 248-254.
- Brody, A.L., Bugusu, B., Han, J.H., Sand, C.K., & McHugh, T.H. (2008). Innovative food packaging solutions. *Journal of Food Science*, 73(8), 107-116.
- Brody, A.L., Strupinsky, G.R., & Pruskin, L.R. (1995). The use of oxygen scavengers and active packaging to reduce oxygen within internal package environments. *U.S. Army Soldier Systems Command Technical Report*, 1-124.
- Charles, F., Guillaume, C., & Gontard, N. (2008). Effect of passive and active modified atmosphere packaging on quality changes of fresh endives. *Postharvest Biology and Technology*, 48(1), 22-29.
- Charles, F., Rugani, N., & Gontard, N. (2005). Influence of packaging conditions on natural microbial population growth of endive. *Journal of Food Protection*, 68(5), 1020-1025.
- Charles, F., Sanchez, J., & Gontard, N. (2003). Active modified atmosphere packaging of fresh fruits and vegetables: modeling with tomatoes and oxygen absorber. *Journal of Food Science*, 68(5), 1736-1742.
- Chien, P.J., Sheu, F., & Yang, F.H. (2007). Effects of edible chitosan coating on quality and shelf life of sliced mango fruit. *Journal of Food Engineering*, 78(1), 225-229.
- Corrales, M., Fernández, A., & Han, J.H. (2014). Antimicrobial Packaging Systems. In: *Innovations in Food Packaging* J. H. Han (Eds.), Academic Press, San Diego, 133-170.
- Çağlar, M., & Demirci, M. (2018). Üzümde bulunan fenolik bileşikler ve beslenme üzerindeki önemi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(11), 18-26.

- Daeschel, M.A., McGuire, J., & Al-Makhlafi, H. (1992). Antimicrobial activity of nisin adsorbed to hydrophilic and hydrophobic silicon surfaces. *Journal of Food Protection*, 55(9), 731-735.
- Dainelli, D., Gontard, N., Spyropoulos, D., Zondervan-van den Beuken, E., & Tobback, P. (2008). Active and intelligent food packaging: legal aspects and safety concerns. *Trends in Food Science & Technology*, 19, S103-S112.
- Day, B.P.F., & Potter, L. (2011). Active packaging. *Food beverage packaging technology*, 251-262.
- DeEll, J.R., Toivonen, P.M.A., Cornut, F., Roger, C., & Vigneault, C. (2006). Addition of sorbitol with KMnO₄ improves broccoli quality retention in modified atmosphere packages. *Journal of Food Quality*, 29(1), 65-75.
- Demirci, M., Sağdıç, O., Çavuş, M., Pehlivanoğlu, H., Yılmaz, M.T., & Çağlar, M. (2017). Prebiyotik oligosakkaritlerin kaynakları, üretimleri ve gıda uygulamaları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(10), 20-31.
- Demirgöl, F., & Sağdıç, O. (2017). Laktik starter kültür üretim teknolojisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(11), 27-37.
- Demirgöl, F., & Sağdıç, O. (2018). Fermente süt ürünlerinin insan sağlığına etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 13, 45-53.
- Eissa, H.A.A. (2007). Effect of chitosan coating on shelf life and quality of fresh cut mushroom. *Journal of Food Quality*, 30(5), 623-645.
- Esmeray, E., & Özata, O. (2019). Nanopartiküllerin çevre mühendisliğinde kullanımı ve temel laboratuvar malzemeleri ile gümüş nanopartikül (AgNPs) sentezi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 16, 521-527.
- Gaikwad, K.K., Singh, S., & Ajji, A. (2019). Moisture absorbers for food packaging applications. *Environmental Chemistry Letters*, 17(2), 609-628.
- Gaikwad, K.K., Singh, S., & Lee, Y.S. (2018). Oxygen scavenging films in food packaging. *Environmental Chemistry Letters*, 16(2), 523-538.
- Gaikwad, K.K., Singh, S., & Negi, Y.S. (2020). Ethylene scavengers for active packaging of fresh food produce. *Environmental Chemistry Letters*, 1-16.
- Galić, K., Ščetar, M., & Kurek, M. (2011). The benefits of processing and packaging. *Trends in Food Science & Technology*, 22(2-3), 127-137.
- Garipoğlu, G. (2019). Enzime dirençli nişasta kullanarak fonksiyonel galeta geliştirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 15, 375-380.
- Gavara, R., Catalá, R., & Hernández-Muñoz, P. (2009). Extending the shelf-life of fresh-cut produce through active packaging. *Stewart Postharvest Review*, 5(4), 1-5.
- Han, J.H. (2014). A review of food packaging technologies and innovations. In: *Innovations in food packaging*, S. L. Taylor (Eds.), Elsevier, New York, 3-12.
- Han, J.W., Ruiz-Garcia, L., Qian, J.P., & Yang, X.T. (2018). Food packaging: A comprehensive review and future trends. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(4), 860-877.
- Harun, U., & Çetin, B. (2018). Etil pirüvat buharının tavuk etinin raf ömrü üzerine etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 14, 255-260.
- Hotchkiss, J.H. (1997). Food-packaging interactions influencing quality and safety. *Food Additives & Contaminants*, 14(6-7), 601-607.
- Huang, W.H., Hsu, C.K., & Chiang, B.H. (1999). Formulations of controlled atmosphere agents for packaged foods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(3), 906-910.
- Hurme, E., Thea, S.M., Ahvenainen, R., & Nielsen, T. (2002). Active and intelligent packaging. In: *Minimal Processing Technologies in the Food Industries*, T. Ohlsson & N. Bengtsson (Eds.), Woodhead New York, 87-123.
- Jain, A., Duvvuri, L.S., Farah, S., Beyth, N., Domb, A.J., & Khan, W. (2014). Antimicrobial Polymers. *Advanced Healthcare Materials*, 3(12), 1969-1985.
- Kaewklin, P., Siripatrawan, U., Suwanagul, A., & Lee, Y.S. (2018). Active packaging from chitosan-titanium dioxide nanocomposite film for prolonging storage life of tomato fruit. *International Journal of Biological Macromolecules*, 112, 523-529.
- Kartal, S., Aday, M.S., & Caner, C. (2012). Use of microperforated films and oxygen scavengers to maintain storage stability of fresh strawberries. *Postharvest Biology and Technology*, 71, 32-40.
- Lee, D.S. (2016). Carbon dioxide absorbers for food packaging applications. *Trends in Food Science & Technology*, 57, 146-155.
- Lelièvre, J.M., Latchè, A., Jones, B., Bouzayen, M., & Pech, J.C. (1997). Ethylene and fruit ripening. *Physiologia plantarum*, 101(4), 727-739.
- Li, T., Lloyd, K., Birch, J., Wu, X., Miroso, M., & Liao, X. (2020). A quantitative survey of consumer perceptions of smart food packaging in China. *Food science & nutrition*, 8(8), 3977-3988.
- Li, W., Li, L., Cao, Y., Lan, T., Chen, H., & Qin, Y. (2017). Effects of PLA film incorporated with ZnO nanoparticle on the quality attributes of fresh-cut apple. *Nanomaterials*, 7(8), 207.
- Lopez-Rubio, A., Almenar, E., Hernandez-Muñoz, P., Lagarón, J.M., Catalá, R., & Gavara, R. (2004). Overview of active polymer-based packaging technologies for food applications. *Food Reviews International*, 20(4), 357-387.
- Loucanova, E., Kalamarova, M., & Parobek, J. (2017). The Innovative Approaches to Packaging – Comparison Analysis of Intelligent and Active Packaging Perceptions in Slovakia. *Studia Universitatis Vasile Goldis Arad – Economics Series*, 27(2), 33-44.
- Mikkola, V., Lähteenmäki, L., Hurme, E., Heiniö, R.L., Järvi-Kääriäinen, T., & Ahvenainen, R. (1997). *Consumer attitudes towards oxygen absorbers in food packages*: Technical Research Centre of Finland Espoo.
- Mousavi Khaneghah, A., Hashemi, S.M.B., & Limbo, S. (2018). Antimicrobial agents and packaging systems in antimicrobial active food packaging: An overview of approaches and interactions. *Food and Bioproducts Processing*, 111, 1-19.
- Nugraha, B., Bintoro, N., & Murayama, H. (2015). Influence of CO₂ and C₂H₄ Adsorbents to the Symptoms of Internal Browning on the Packaged ‘Silver Bell’ Pear (*Pyrus communis* L.). *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 3, 127-131.
- O’ Callaghan, K.A.M., & Kerry, J.P. (2016). Consumer attitudes towards the application of smart packaging technologies to cheese products. *Food Packaging and Shelf Life*, 9, 1-9.
- Otoni, C.G., Espitia, P.J.P., Avena-Bustillos, R.J., & McHugh, T.H. (2016). Trends in antimicrobial food packaging systems: Emitting sachets and absorbent pads. *Food Research International*, 83, 60-73.
- Ozdemir, M., & Floros, J.D. (2004). Active food packaging technologies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44(3), 185-193.

- Pereira de Abreu, D.A., Cruz, J.M., & Paseiro Losada, P. (2012). Active and intelligent packaging for the food industry. *Food Reviews International*, 28(2), 146-187.
- Popa, I., Hanson, E.J., Todd, E.C.D., Schilder, A.C., & Ryser, E.T. (2007). Efficacy of chlorine dioxide gas sachets for enhancing the microbiological quality and safety of blueberries. *Journal of Food Protection*, 70(9), 2084-2088.
- Prasad, P., & Kochhar, A. (2014). Active packaging in food industry: a review. *Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 8(5), 1-7.
- Quintavalla, S., & Vicini, L. (2002). Antimicrobial food packaging in meat industry. *Meat Science*, 62(3), 373-380.
- Recep, K., Acaröz, U., Gürlü, Z., Soylu, A., & Küçük Kurt, O. (2019). Taze marul örneklerinde *Escherichia coli* O157 ve *Listeria monocytogenes* varlığının belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 16, 870-873.
- Roberts, R. (2003). Consumer attitudes and future market trends for active & intelligent packaging. *Actipak unwraps Europe Conference*, 23-26.
- Rooney, M.L. (1995). Overview of active food packaging. In: *Active food packaging*, M. L. Rooney (Eds.), Springer, Boston, 1-37.
- Roy, S., Anantheswaran, R.C., & Beelman, R.B. (1995). Sorbitol increases shelf life of fresh mushrooms stored in conventional packages. *Journal of Food Science*, 60(6), 1254-1259.
- Sağdıç, O., Kayacan, S., Dertli, E., & Arici, M. (2020). Gıda güvenliği açısından COVID-19 etmeni SARS-CoV-2'nin değerlendirilmesi ve korunma yöntemleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 18, 927-933.
- Scully, A.D., & Horsham, M.A. (2007). Active packaging for fruits and vegetables. In: *Intelligent and Active Packaging for Fruits and Vegetables*, C. L. Wilson (Eds.), CRC Press, Boca Raton, 57-71.
- Shetty, K.K., & Dwelle, R.B. (1990). Disease and sprout control in individually film wrapped potatoes. *American potato journal*, 67(10), 705-718.
- Shirazi, A., & Cameron, A.C. (1992). Controlling relative humidity in modified atmosphere packages of tomato fruit. *HortScience*, 27(4), 336-339.
- Suppakul, P., Miltz, J., Sonneveld, K., & Bigger, S.W. (2003). Active packaging technologies with an emphasis on antimicrobial packaging and its applications. *Journal of Food Science*, 68(2), 408-420.
- Tomar, O., & Akarca, G. (2019). Farklı bitki ekstraktlarıyla kaplamanın kaşar peynirlerinin mikrobiyolojik ve duyu kaliteleri üzerine etkileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 15, 86-95.
- Tzeng, J.H., Weng, C.H., Huang, J.W., Shieh, C.C., Lin, Y.H., & Lin, Y.T. (2019). Application of palladium-modified zeolite for prolonging post-harvest shelf life of banana. *Journal of the Science of Food Agriculture*, 99(7), 3467-3474.
- Veasna, H., Hwang, Y.-S., Choi, J.-M., Ahn, Y.-J., Lim, B.-S., & Chun, J.-P. (2012). 1-Methylcyclopropene and carbon dioxide absorber reduce chilling injury of eggplant (*Solanum melongena* L.) during map storage. *Protected Horticulture and Plant Factory*, 21(1), 50-56.
- Vermeiren, L., Devlieghere, F., van Beest, M., de Kruijf, N., & Debevere, J. (1999). Developments in the active packaging of foods. *Trends in Food Science & Technology*, 10(3), 77-86.
- Vilela, C., Kurek, M., Hayouka, Z., Röcker, B., Yildirim, S., Antunes, M.D.C., Nilsen-Nygaard, J., Pettersen, M.K., & Freire, C.S.R. (2018). A concise guide to active agents for active food packaging. *Trends in Food Science & Technology*, 80, 212-222.
- Watkins, C.B. (2000). Responses of horticultural commodities to high carbon dioxide as related to modified atmosphere packaging. *HortTechnology*, 10(3), 501-506.
- Yıldırım, S., Röcker, B., Pettersen, M.K., Nilsen-Nygaard, J., Ayhan, Z., Rutkaite, R., Radusin, T., Suminska, P., Marcos, B., & Coma, V. (2018). Active packaging applications for food. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(1), 165-199.
- Zagory, D. (1995). Ethylene-removing packaging. In: *Active food packaging*, M. L. Rooney (Eds.), Springer, UK, 38-54.



İnegöl (Bursa) ve Domaniç (Kütahya) Yöresi Doğu Kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) Ormanları İçin Önemli Bir Tehdit: Kızılkuyruklu Kayın Tırtılı - *Calliteara pudibunda* (Linnaeus, 1758)

Oğuzhan Sarıkaya^{1*}, Ali İhsan Kadioğulları², Özden Açııcı³

^{1*} Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5124-6279) oguzhan.sarikaya@btu.edu.tr

²Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3102-6321) ali.kadiogullari@btu.edu.tr

³Bursa Orman Bölge Müdürlüğü, Bursa, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3159-4828) ozdenacici@ogm.gov.tr

(İlk Geliş Tarihi 22 Eylül 2020 ve Kabul Tarihi 9 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.798622)

ATIF/REFERENCE: Sarıkaya, O., Kadioğulları, A.İ. & Açııcı, Ö. (2021). İnegöl (Bursa) ve Domaniç (Kütahya) Yöresi Doğu Kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) Ormanları İçin Önemli Bir Tehdit: Kızılkuyruklu Kayın Tırtılı - *Calliteara pudibunda* (Linnaeus, 1758). Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (21), 131-135.

Öz

Ülkemiz ormanlarında ciddi ekonomik kayıplara neden olan zararlı böcek türleri arasında Lepidoptera takımına bağlı türler önemli bir yeri tutmaktadır. Özellikle larvalarının beslenmesi sonucunda artım kayıplarına neden olmakta, ağaçları zayıf düşürerek sekonder karakterli zararlılara zemin oluşturabilmektedir. Ülkemiz kayın ormanlarında ekonomik zarara yada epidemiyeye yol açan zararlı türlerle sıklıkla rastlanılmamakla birlikte son yıllarda Bursa-İnegöl ve Kütahya-Domaniç sınırında yer alan kayın ormanlarında bir lepidoptera türü olan *Calliteara pudibunda* (Linnaeus, 1758) (Lep.: Erebidae, Lymantriinae) önemli zararlarıyla dikkati çekmektedir. Çalışmada, böceğin morfolojisi ve zarar şekli ile gözlemler gerçekleştirilmiş, insansız hava araçlarından dronlara entegre edilen RGM mono kameralar ile zararlıların larvalarının etkili olduğu alanlar ve böceğin ilerleme yönü tespit edilmiştir. Zarara uğrayan alanın ortofoto haritaları üzerinden sahada genel durum değerlendirildiğinde sahada, böceğin 2019 yılında zarara neden olduğu alan 453,80 hektar olarak ölçülmüştür. Zararlıların mücadelesinde mekanik ve biyolojik savaşın bir arada tercih edileceği entegre savaş yöntemlerinin tercih edilmesi önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: *Calliteara pudibunda*, Kayın, Morfoloji, Zarar, Yayılış.

An Important Threat to the Eastern Beech (*Fagus orientalis* Lipsky) Forests of İnegöl (Bursa) and Domaniç (Kütahya) Region: Pale Tussock Moth - *Calliteara pudibunda* (Linnaeus, 1758)

Abstract

The species belonging to the Lepidoptera are among the pest insect species that cause serious economic losses in Turkish forests. Especially as a result of feeding their larvae, it causes incremental losses, weakens the trees and can form a basis for secondary pests. Although harmful species that cause economic damage or epidemic in our country's beech forests are not frequently encountered, *Calliteara pudibunda* (Linnaeus, 1758) (Lep.: Erebidae, Lymantriinae), a lepidoptera species in the beech forests located on the Bursa-İnegöl and Kütahya-Domaniç border, has attracted attention with its important damages. In this study, observations were made with the morphology and damage type of the insect, and the areas where the pest's larvae were effective and the progression direction of the insect were determined with RGM mono cameras integrated into drones from unmanned aerial vehicles. When the general situation in the field is evaluated using the orthophoto maps of the damaged area, the area where the insect caused the damage in 2019 was measured as 453.80 hectares. It is recommended to choose integrated pest management methods in which mechanical and biological control methods will be preferred together in controlling against the pest.

Keywords: *Calliteara pudibunda*, Beech, Morphology, Damage, Distribution.

1. Giriş

Ormanlar, kendine özgü bir ekosistem içinde varlığını sürdürebilen; topluma sosyal, kültürel ve ekonomik yararlar sağlayan ve aynı zamanda kendini yenileyebilen doğal kaynaklardan en önemlisidir. Özellikle son yüzyıl içinde giderek artan dünya nüfusu ve bunun getirdiği sosyal baskı, çevre kirlenmesi, yangınlar ve böcek zararları gibi birçok olumsuz etmenlerle ormanlar giderek azalmış ve bu durum günümüzde de hızını kaybetmeden devam etmektedir.

Ormanların ekolojik fonksiyonları biyolojik çeşitlilik ile yerine getirilmektedir (Pearce ve Pearce, 2001). Ormanlar, sahip oldukları su ekosistemleri, odun ve odun dışı ürün ve hizmetleri ile sayısız ölçülen ve ölçülemeyen fayda ve fonksiyonlara sahiptir. Aynı zamanda, bu ekosistemler bitki, toprak ve su kaynakları dengesinin, kırsal alandaki sosyal istikrarın, barajların uzun ömürlü olmasının ve gıda güvenliğinin temel sigortasıdır (Konukçu, 2001).

Ormancılığın en önemli prensiplerinden birisi sürekliliğin sağlanmasıdır (Akyol ve Tolunay, 2014). Bunun gerçekleştirilebilmesi her şeyden önce ormanların tekniğine uygun şekilde işletilmesi, bakımlarının yapılarak korunmasına bağlıdır. Orman alanlarını tehdit eden tehlikeleri iyi tanımak ve bunlara karşı yerinde ve zamanında gerekli tedbirleri almak büyük önem taşımaktadır. Böcekler ormanları tehdit eden en önemli faktörlerden birisi olup, ormana zararlı etkilerini ortadan kaldırmak veya hiç olmazsa ekonomik zarar düzeyinin altında tutabilmek, ancak onların biyolojisini ve yayılışını iyi bilmek, yerine ve zamanına göre savaş yöntemlerini uygulamakla mümkün olmaktadır (Akyol ve Sarıkaya, 2017).

Ülkemizdeki iklim koşulları ve dolayısıyla bitki tür çeşitliliği ormanlarda yıllarca varlığını hissettiren birçok böceğin yaşamlarını elverişli kılmıştır. Entomolojik kaynaklı zararların ortaya çıkmasında etkili olan iklim faktörleri, konukçu bitkileri strese sokarak daha az dayanıklı hale getirmekte yada zararlı böcek türlerinin üreme potansiyelinde ve popülasyonunda artışa neden olabilmektedir. Nitekim sera gazı emisyonlarının yol açtığı küresel ısınma ve iklim değişikliği Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)'ne göre, küresel ortalama sıcaklık 1880-2012 yılları arasında 0,85°C artmıştır (IPCC, 2014). Bu artışın etkileri böcek türlerinin yatay ve dikey dağılımlarının genişlemesi yada epidemiyapma kapasitelerinin artması olarak karşımıza çıkmaktadır (Sarıkaya ve ark., 2018).

Ülkemiz ormanlarında ciddi ekonomik kayıplara neden olan zararlı böcek türleri arasında Lepidoptera takımına bağlı türler önemli bir yeri tutmaktadır. Özellikle larvalarının beslenmesi sonucunda artım kayıplarına neden olmakta, ağaçları zayıf düşürerek sekonder karakterli zararlılara zemin oluşturabilmektedir. Ülkemiz kayın ormanlarında ekonomik zarara yada epidemiyeye yol açan zararlı türlerle sıklıkla rastlanılmamakla birlikte son yıllarda Bursa-İnegöl ve Kütahya-Domaniç sınırında yer alan kayın ormanlarında bir lepidoptera türü olan *Calliteara pudibunda* (Linnaeus, 1758) (Lep.: Erebidae, Lymantriinae) önemli zararlarıyla dikkati çekmektedir. Larvaları kayın yapraklarını yemesi sonucunda ağaçlar tamamen yapraksız kalabilmekte ve artım kaybı meydana gelmektedir. Bu tür esas olarak kayın zararlısı olarak bilinmekle birlikte, yapraklı orman ağacı türlerinde polifag olarak beslenmektedir.

Bu çalışmada, zararlı tür ile ilgili bilgiler sunulacak ayrıca Bursa-İnegöl ve Kütahya-Domaniç sınırında yer alan kayın

ormanlarında 2019 yılı sonunda yayılışına ilişkin elde edilen veriler ve mücadelesi için öneriler verilmektedir.

2. Materyal ve Metot

2019 yılında yapılan bu çalışmayla kızılkuylu kayın tırtılı (*Calliteara pudibunda*)'nın 2018 ve 2019 yılında önemli zarara neden olduğu ve Bursa Orman Bölge Müdürlüğü İnegöl Orman İşletme Müdürlüğü, Tahtaköprü Orman İşletme Şefliği ile Kütahya Orman Bölge Müdürlüğü Domaniç Orman İşletme Müdürlüğü Domaniç Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde yer alan kayın sahalarında inceleme ve araştırmalarda bulunulmuştur. Böceğin morfolojisi ve zarar şekli ile gözlemler gerçekleştirilmiş, insansız hava araçlarından dronlara entegre edilen RGM mono kameralar ile zararlıların larvalarının etkili olduğu alanlar ve böceğin ilerleme yönü tespit edilmiştir. Bu amaçla, 30 günlük periyotlarla Dronlara monte edilen kameralar ile izleme faaliyeti gerçekleştirilmiş ve çok bantlı ortofoto harita üretilerek 2019 yılı sonu itibarıyla zararın alanı tespit edilmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Morfolojik Gözlemler

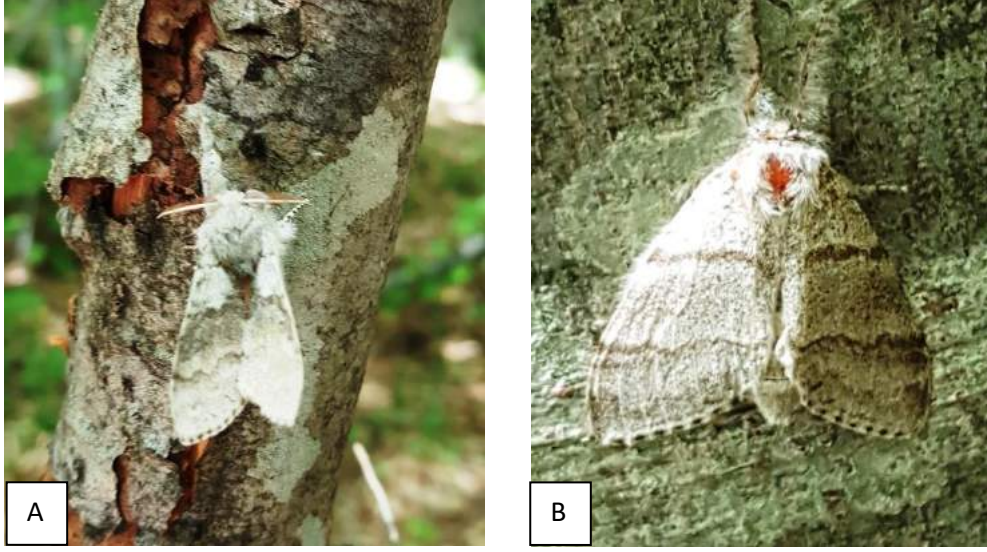
Dişi erginleri erkek erginlere göre daha büyük boyutlarda olup, dişi erginler erkeklere göre daha açık renktedir. Kanatlar, gri kahverengi renkte olup üzerinde enine şeritler dikkati çekmektedir. Erginlerin kanat açıklığı erkeklerde 3-5 cm; dişi erginlerde ise 4-6 cm arasında değişmektedir (Şekil 1).

Erginlerin birinci çift thorax bacakları istirahat halindeyken öne doğru uzatılmış şekildedir. Bacaklar beyaz ve grimsi tüyler bulunmaktadır.

Dişi erginler yapraklara, gövdeye hatta dallara bırakılan gri renkli yumurtalar (Şekil 2), 2-3.5 mm büyüklüğünde, yuvarlak ve ortalarında belirgin çukurluk bulunmaktadır.

Boyları 3.5-5 cm arasında değişen olgun tırtılları çoğunlukla sarımsı yeşil renkte olup, üzerlerinde sarımtırak tüyler bulunmaktadır. Vücudunda lateralde siyah renkli çizgiler mevcuttur (Şekil 3). Abdomende 11.segmentten uzanan kırmızımtırak renkli kıl demeti larvaların tanınmasında en önemli özelliklerdendir.

Tırtılları ölü örtüde, bir koza içerisinde pupa olmaktadır. Pupalardan boyu 2-3.5 cm, enleri ise 1-1.6 cm arasında değişmektedir. Pupaşma ilk başlarda koyu yeşil yada açık kahverenginde iken ilerleyen süreçte koyu kahverengi bir hal almaktadır (Şekil 4).



Şekil 1. *Calliteara pudibunda* erginleri (A: Erkek, B: Dişi)



Şekil 2. *Calliteara pudibunda* yumurta paketi



Şekil 3. *Calliteara pudibunda* olgun larvaları



Şekil 4. *Calliteara pudibunda* pupaları

3.2. Konukçu Bitkileri ve Yayılışı

Türkiye’de daha önce Göktürk ve Aksu (2005) tarafından Artvin yöresinde kızılâğaç ve huş ağaçları üzerinde zararı bildirilen *Calliteara pudibunda* (Linnaeus, 1758), 2018 ve 2019 yıllarında İnegöl (Bursa) kayın ormanlarında epidemi yaparak önemli zarara yol açmıştır. Avrupa’da esas olarak kayın zararlısı olarak bilinmekle beraber, *Quercus Salix*, *Fagus*, *Betula*, *Fraxinus*, *Carpinus*, *Tilia*, *Prunus*, *Crataegus*, *Juglans*, *Acer*, *Castanea*, *Alnus* ve *Populus* gibi diğer yapraklı türlerde de zararlı olabilmektedir (Peter, 1986; Göktürk ve Aksu, 2005; Mazzaglio ve ark., 2005; Janben, 1998; Urban, 1994). Larvalarının kayın yapraklarını yemesi sonucunda ağaçlar tamamen yapraksız kalabilmekte ve artım kaybı meydana gelmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. *Calliteara pudibunda* tırtılları tarafından zarara uğrayan ağaçlar

Calliteara pudibunda’nın Avrupa’da 37. ve 60. Enlem dereceleri arasında yayılış yaptığı ancak; 48.- 57. Enlemlerde epidemilere yol açtığı bildirilmektedir (Wellenstein, 1978; Klimitzek, 1972; Mazzaglio, 2005; Heqvist, 1949; Nilsson, 1978).

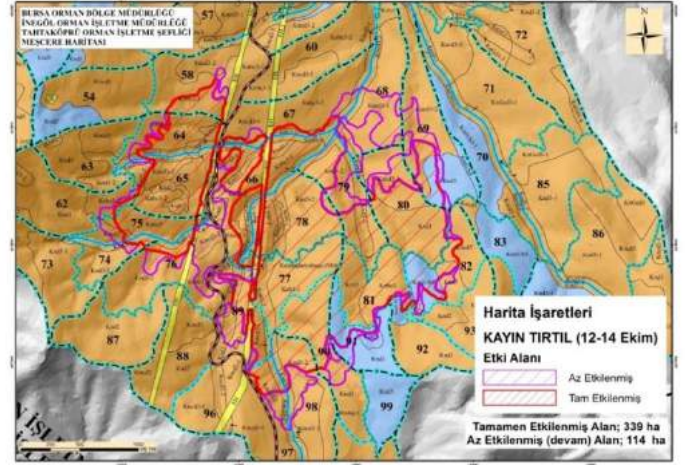
3.3. İnegöl ve Domaniç Kayın Sahalarında Zararın Yayılışına İlişkin Kayıtlar

2019 yılında zarar periyodu boyunca, İnsansız Hava Araçları (drone; RGB mono kameralı) ile haritalama için uçuşlar yapılmış ve yüksek çözünürlüklü ortofoto haritalar üretilerek zarar değişimi izlenmiştir. Zarara uğrayan alanın ortofoto haritaları üzerinden sahada genel durum tespit edilmiştir. Sahada, böceğin 2019 yılında zarara neden olduğu alan 453,80 hektar olarak ölçülmüştür (Şekil 6, Şekil 7).



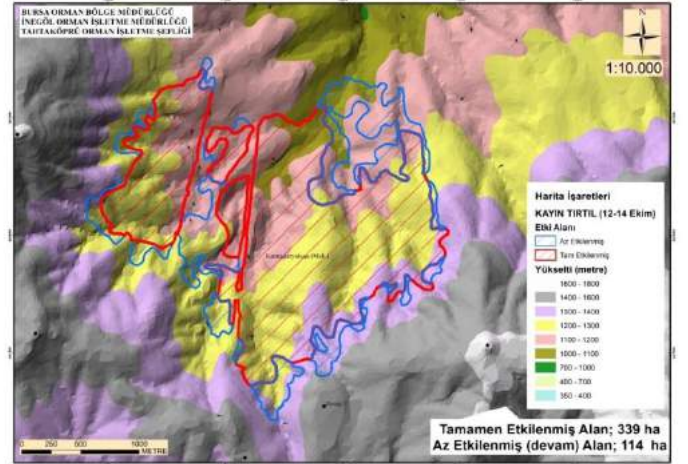
Şekil 6. Zarara uğrayan sahasının dron ile alınan görüntüsü

Bu alanın 339 hektarlık bölümünde, yapraklarla beslenen tırtılların ağaçlarda yaprak bırakmayacak şekilde beslendiği, 114 hektarlık alanda ise zararın daha az yoğunlukta olduğu belirlenmiştir.



Şekil 7. Kayın Tırtıl zararının 2019 yılı Ekim ayındaki durumu (Meşcere haritası)

Yükselti basamakları göz önünde bulundurulduğunda, kayın sahasının genelinde zararın görüldüğü, ancak daha yoğun zararın 1100-1300 m yükselti basamağında gerçekleştiği tespit edilmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. Arazideki böcek zararının yükselti kuşaklarına göre dağılımı

4. Sonuç

Calliteara pudibunda’nın günümüz ve gelecekteki potansiyel alanlarının giderek daha da artış gösterebileceği tahmin edilmektedir. Zararlıının mücadelesinde mekanik ve biyolojik savaşın bir arada tercih edileceği entegre savaş yöntemlerinin tercih edilmesi önemlidir.

Bu kapsamda, sonbaharda pupa periyoduna geçtikten sonra pupaları toplanmak suretiyle mekanik mücadelesi yapılarak popülasyon düzeyi aşağıya çekilmelidir.

Böceğin yumurtalarını bıraktığı dönemde bu yumurtaların bir fırça ya da spatula yardımıyla zedelenmesi mekanik mücadelenin bir diğer ayağı olacaktır.

Sahada böceğın 2018 ve 2019 yıllarında önemli zarara yol açtığı ve popülasyonun epidemi seviyesinde olduğu göz önünde bulundurulduğunda erken larva döneminde Haziran ve Temmuz aylarında larvalara karşı biyolojik mücadele ajanı olan *Bacillus thuringiensis* var. kurstaki bakterisinin kullanılması tavsiye edilmektedir. Ancak, popülasyonun yüksek olmadığı yıllarda bu bakterinin diğer organizmalara, özellikle de böceğın doğal düşmanı olan türlere zararı olabileceği düşünülerek kullanımından kaçınılmalıdır.

Calliteara pudibunda'nın doğal düşmanı konumunda bulunan parazitoit ve predatör böcek türlerinin belirlenmesi, uzun vadede biyolojik mücadeleye esas olacak şekilde doğal dengenin tekrar kurulması adına büyük önem taşımaktadır. Bunun için, zararlının yumurta ve larva-pupa parazitoitlerinin tespit edilmesi ve bunlardan ümitvar olan türlerin laboratuvarında kitle üretiminin imkânlarının ortaya konulması oldukça önemlidir.

Doğal düşman türlerden sadece böcek türlerinin değil, zararlının larvalarıyla beslenen böcekçil kuş ve memeli hayvanların tespit edilerek, sahada popülasyonunun artırılması biyolojik mücadelenin bir diğer uygulaması olması adına önemlidir.

Zararlının parazitoitlerinin popülasyonunun artırılması amacıyla yetiştirme alanına uygun çiçekli bitkilerin araştırılarak dikim veya tohum ekimi ile sahaya bu çiçekli bitkilerin getirilmesi için gerekli çalışmaların başlatılması, tohum ve fidanların yahut çeliklerin temin edilmesi ve ekim ya da dikim zamanında sahaya uygulamanın yapılması doğal düşmanların sahadaki performansının artırılması adına önerilmektedir.

Kaynakça

- Akyol A., Sarıkaya O. (2017). Situation and Evaluation of Biological and Chemical Control Applications for Forest in Turkey. *Applied Ecology and Environmental Research*, 15: 341-353.
- Akyol A., Tolunay A. (2014). Sürdürülebilir Orman Yönetimi Ölçüt ve Göstergelerinin Türkiye İçin Modellenmesi. *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*, 15: 21-32.
- Göktürk T., Aksu Y. (2005). Artvin İli Ormanlık Alanlarında Tespit Edilen *Calliteara pudibunda* (Linnaeus, 1758)'nın (Lepidoptera; Lymantriidae) Morfolojisi, Biyolojisi ve Beslenme Özellikleri Üzerine Bir Araştırma. *Orman Mühendisliği*, Yıl:43, Sayı:Temmuz-Ağustos-Eylül, 34-35.
- Heqvist K.J. (1949). Om bokspinnarens (*Dasychira pudibunda* L.) uppträdande i Halland år 1946.- *Svenska Skogsvårdsföreningens Tidskrift*, 4: 219-227.
- IPCC (2014). *Impacts, Adaptation and Vulnerability: Summary for Policymakers*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York.
- Janben, J.H. (1998). Freilandstudien über den Buchenrotschwanz (*Dasychira pudibunda* L.) im Forstamt Podanin bei Budzyn unter Berücksichtigung einer dortigen Gradation in den Jahren 1992-1994
- Klinitzek, D. (1972). Das Vorkommen des Buchenrotschwanzes (*Dasychira pudibunda* L.) in der Pfalz.- *Allgemeine Forst- und Jagd-Zeitung*, 143 (9): 192-195.
- Konukçu, M. (2001). Ormanlar Ve Ormancılığımız: Faydaları, İstatistiki Gerçekler, Anayasa, Kalkınma Planları, Hükümet Programları ve Yıllık Programlarda Ormancılık. Devlet Planlama Teşkilatı Yayınları, Ankara.

- Mazzoglio, P.J., Paoletta. M., Patetta. A., Currado, I. (2005). *Calliteara pudibunda* (Lepidoptera Lymantriidae) in Northwest Italy. *Bulletin of Insectology*, 58(1): 25-34.
- Nilsson, I. (1978). The influence of *Dasychira pudibunda* (Lepidoptera) on plant nutrient transports and tree growth in a beech *Fagus sylvatica* forest in southern Sweden.- *Oikos*, 30: 133-148.
- Pearce, W.D., Pearce, G.T.C. (2001). The Value of Forest Ecosystems. A Report to the Secretariat Convention on Biological Diversity
- Peter, M. (1986). An outbreak of *Dasychira pudibunda* L. (Lep., Lymantriidae). *Entomologische Nachrichten und Berichte*, 30(3): 125-16.
- Sarıkaya O., Karaceylan I.B., Şen İ. (2018). Maximum Entropy Modeling (Maxent) of current and future distributions of *Ips mansfeldi* (Wachtl, 1879) (Curculionidae: Scolytinae) in Turkey. *Appl Ecol Environ Res* 16:2527-2535
- Urban, J. (1994). Biology of the red tail moth (*Calliteara pudibunda* L.): Part I. Moths, their occurrence and egg laying. *Lesnictvi Prague* 40 (7-8): 284-297.
- Wellenstein, G. (1978). Lymantriidae, Traegspinner, pp. 316-334. In: *Die Forstschädlinge Europas*. 3. Schmetterlinge SCHWENKE W., Ed.).- Verlag P. Parey, Berlin und Hamburg.



Turizm İşletmelerinde Bilgi ve İletişim Teknolojilerinden Blokzincir Teknolojisine Geçiş Süreci ve Uygulama Örnekleri

Senem Yazıcı*

* Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Turizm Fakültesi, Turizm İşletmeciliği Bölümü, Muğla, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-1318-3462), senemyazici@mu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 8 Ekim 2020 ve Kabul Tarihi 24 Aralık 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.807716)

ATIF/REFERENCE: Yazıcı, S. (2021). Turizm İşletmelerinde Bilgi ve İletişim Teknolojilerinden Blokzincir Teknolojisine Geçiş Süreci ve Uygulama Örnekleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 136-146.

Öz

Turizmde bilgi ve iletişim teknolojileri kullanımı çok eski ve gelişmiştir. Bilgi ve iletişim teknolojisi turizm ürünlerinin aracı turizm işletmelerine ulaşabilmesini sağlayan dağıtım ağlarının kurulmasını sağlamıştır. Bu dağıtım ağları dünya genelinde dört büyük firmanın merkezi sistemde kontrolü altındadır. Blokzincir, turizm işletmelerinde dağıtım ağını ve iş modelini tamamen değiştirecek yıkıcı bir teknolojidir. Turistin merkezsiz, güvenli, şeffaf ve aracsız işlem talebi turizm altyapısının değişmesinin gerekliliğini ortaya koymaktadır. Ancak, turizm işletmelerinde blokzincir teknolojisinin benimsenmesi ve uygulama alanı bulması oldukça yavaş olmuştur. Bu makalenin amacı turizm işletmeciliğinde bilgi ve iletişim teknolojilerinden blokzincir teknolojisine geçiş sürecini ve turizmde blokzincir uygulama örneklerini incelemektir. Ayrıca, blokzincir teknolojisinin turizm işletmelerinde çok çeşitli uygulama fırsatları sunduğunu ortaya koymaktır. Araştırmada nitel araştırma yöntemlerinden alanyazın taraması yapılarak turizmde blokzincir kavramının detaylı ve derinlemesine araştırılmıştır. Kavramsal çerçevenin oluşturulabilmesi için, araştırmada “blokzincir” ve “turizm” anahtar kelimeleri geçen yazılı belgeler ayrıntılı olarak taranarak doküman analizi gerçekleştirilmiştir. Turizm işletmeciliğinde bilgi ve iletişim teknolojilerinden blokzincir teknolojisine geçiş süreci kronolojik ve tarihsel olarak değerlendirilmiştir. Turizmde uygulanan blokzincir teknoloji uygulamaları ve örnekleri incelenmiştir. Elde edilen alanyazın bulguları ışığında, blokzincir teknolojisinin turizmin karmaşık ve çok aracı ürün dağıtım ağında oluşan güvensizlik, şeffaflık ve merkezi sistemden kaynaklanan sorunları çözmeye önemli bir yere sahip olacağı anlaşılmaktadır. Turizm işlemleri, blokzincir teknolojisi kullanılarak daha şeffaf, açık, güvenli ve merkezi olmayan bir sisteme geçebilecektir. Diğer taraftan, alanyazın bulguları blokzincir uygulamalarının teknoloji firmaları tarafından geliştirilmekte olduğunu; turizm işletmelerinin altyapılarının bu tür yıkıcı teknolojileri kurgulama ve uygulamada yetersiz kaldığını göstermektedir. Bu sorunun giderilmesinde, üniversitelere önemli rol düşmektedir. Teknoloji Transfer Ofisleri, Blokzincir Araştırma Merkezleri, Turizm Araştırma Merkezleri ve Turizm İşletmeleri blokzincir uygulamalarının geliştirilmesinde birlikte çalışarak turizm işletmelerine büyük katkı sağlayabilirler. Sonuç olarak, blokzincir teknolojisi ile yeniden yapılandırılacak iş modelleri turistler, turizmde çalışanlar ve turizm işletmecileri için turizm işleyişini ve ekosistemi kökten değiştirecektir.

Anahtar Kelimeler: Blokzincir Teknoloji, Turizm İşletmeleri, Bilgi ve İletişim Teknolojileri, Merkezi, Şeffaf.

The Process of Transition from Information and Communication Technologies to Blockchain Technology in Tourism Management and Application Examples

Abstract

The use of information and communication technologies in tourism is very old and well developed. Information and communication technology has enabled the establishment of distribution networks that enable tourism products to reach intermediary tourism enterprises. These distribution networks are under the central control of four major companies worldwide. Blockchain is a disruptive

* Sorumlu Yazar: senemyazici@mu.edu.tr

technology that will completely change the distribution network and business model in tourism businesses. The demand of the tourist for decentralized, secure, transparent and unmediated transactions reveals the necessity of changing the tourism infrastructure. However, the adoption and application of blockchain technology in tourism businesses have been rather slow. This article aims to examine the transition process from information and communication technology to blockchain technology in tourism management and blockchain applications in tourism. It is also to reveal that blockchain technology offers a wide variety of application opportunities in tourism businesses. In the research, the concept of blockchain in tourism was investigated in detail and in-depth by scanning the literature, one of the qualitative research methods. Document analysis was performed by scanning written documents containing the keywords "blockchain" and "tourism". The process of transition from information and communication technology to blockchain technology in tourism management has been evaluated chronologically. Blockchain technology applications and examples applied in tourism were examined. In the light of the findings of the literature, it is understood that blockchain technology will have an important place in solving the problems arising from insecurity, transparency and central system in tourism's complex and multi-mediated product distribution network. Tourism transactions will be able to move to a more transparent, open, secure and decentralized system using blockchain technology. On the other hand, the findings of the literature show that blockchain applications are being developed by technology firms; It shows that the infrastructures of tourism enterprises are insufficient to construct and implement such disruptive technologies. Universities play an important role in overcoming this problem. Technology transfer offices, blockchain research centres, tourism research centres and tourism enterprises can make a great contribution to tourism businesses by working together in the development of blockchain applications. As a result, business models to be restructured with blockchain technology will radically change the functioning and ecosystem of tourism for tourists, tourism workers and tourism operators.

Keywords: Blockchain Technology, Tourism Management, Information and Communication Technology, Decentralized, Transparent.

1. Giriş

Blokzinciri son yüzyılın en önemli buluşlarından birisi olarak kabul edilmektedir (Durbilmez ve Türkmen, 2017). 2008 yılında Blokzincir teknoloji ile çalışan 'bitcoin' kripto para Satoshi Nakamoto tarafından Dünya'ya hibe edilerek ekonomiyi, teknolojiyi ve para kullanımını tamamen değiştirmiştir (Tanrıverdi, Uysal ve Üstündağ, 2019). Satoshi Nakamoto'nun kim ya da kimler olduğu belirlenememiştir (Valeri, 2020). Blokzinciri şifreleme, oyun teorisi ve bilgisayar mühendisliğinin birleşmesi sonucunda ortaya çıkmış bir teknolojidir (Brandenburger vd., 2018). Nakamoto'nun (2008) elektronik para üzerine çalışmalarını sürdürürken (Bitcoin geliştirilme aşaması) yaşanan bir problem, blokzincirinin kullanılmasına neden olmuştur. Nakamoto (2008) eşten eşe elektronik para sisteminde yaşanan problemi "dijital para sisteminde para mükerrer olarak kullanılmadığının doğrulanmasının merkezi sistem olmadan nasıl yapılacağına bilinmemesi" olarak belirtmiştir. Çifte harcama problemi (double-spend problem) olarak bilinen bu problemi çözmek için 'açık anahtar şifreleme', 'dijital imza', 'hash' (bilgisayar terminolojisinde karma ya da özet anlamında kullanılır) ve 'iş kanıtı' olarak bilinen 'uzlaşma algoritması' kullanılarak blokzincir teknolojisi kullanılmıştır (Pilkington, 2017; Karaarslan and Akbaş, 2017).

Blokzincirinin elektronik para Bitcoin ile anılmasının iki nedeni vardır. Bunlardan ilki, merkezi sistemden merkezsiz sisteme geçilmesi ve ikincisi ise güvenilir para transferlerinin aracı olmadan yapılabilmesinin ispatlanmış olmasıdır (Varelas, Georgitseas, Nechita ve Sahinidis, 2019). Bu ispatın üzerinden geçen on yıllık sürede, blokzinciri teknolojisine karşı önyargılar olmasına karşın ekonomik çevrede güven kazanmıştır (Özpinar, 2020). Bu güvenin oluşmasında temel nedenlerin başında blokzinciri hiçbir zaman kapatılamaz, silinemez ve yok edilemez bir yapıya sahip olması gelir (Avunduk ve Aşan, 2018). Teorik olarak blokzinciri tek bir düğümde çalışabilmeye ayarlanmış olsa; elektrik kesintisi, bilgisayar korsanları veya sistemik çökmeler gibi tehditlere karşı son derece savunmasız kalabilir (Brandenburger, Cachin, Kapitzta ve Sorniotti, 2018). Bir blokzinciri ne kadar çok sayıda düğüm kullanıyorsa, bu tür felaketlere karşı dayanıklılığı o kadar iyi anlamına gelmektedir

(Lin ve Liao, 2017). Bir bilgisayarın bir kısmına ulaşamadığı durumlarda blokzincir geçmişi bulunan bir düğümün dağıtık ağ ile bağlanarak birçok cihaza yayılması ile sistem aktif hale gelebilmektedir (Rejeb ve Karim, 2019). Bundan dolayı blokzincir eşsiz ve güvenli bir teknolojik altyapı sunmaktadır.

Blokzincir ilk çıktığı 2008 yılından itibaren; 'Blokzincir 1.0', 'Blokzincir 2.0' ve 'Blokzincir 3.0' olmak üzere üç farklı evrede gelişmiştir (Lu, 2018). Blokzincir 1.0 'Para Birimi – bitcoin' dönemi olup kripto para, para transferleri, havale ve ödemeler için dijital sistemlerin oluşumunu ifade eder (Özpinar, 2020). Bir diğer ifade ile bankaların, finansal aracı ve yatırımcı kurumların dijital para transferlerini gerçekleştirmesidir (Tanrıverdi vd., 2019). Blokzincir 2.0 ile 'Akıllı Sözleşmeler' devri olarak bilinen ve ekonomik olarak hisse senetleri, tahviller, vadeli işlemler, krediler, ipotek, unvanlar, akıllı mülkler ve akıllı sözleşmelerden oluşan her tür işlemin dijitalleşmesi olarak kabul edilmektedir (Taş ve Kiani, 2018; Karaarslan ve Konacaklı, 2020). Blokzincir 3.0 ise 'Yeni Kullanım' alanlarında yaygınlaşmasıdır. Bu çerçevede hükümet, sağlık, bilim, okuryazarlık, sanat, kültür, askeri ve tedarik zinciri sistemleri ve benzeri alanlar ile ekonominin haricinde kalan diğer alanlarda kullanımı arttı (Tanrıverdi vd., 2019; Aydar ve Çetin, 2020; Angın, 2020). Blokzinciri ekonomi (Jantoń-Drozdowska ve Mikołajewicz-Woźniak, 2017); sigorta (Gatteschi, Lamberti, Demartini, Pranteda ve Santamaría, 2018); açık artırma (Brandenburger vd., 2018) ve nesnelerin interneti (Kösesoy, 2019) gibi birçok alanda başarılı bir şekilde kullandığını gösteren uygulamalar ve çalışmalar yapılmıştır. Blokzincirinin ürettiği çözümler arasında envanter yönetimi, sadakat yönetimi, rezervasyon, biletleme, dijital ödemeler, yüz ve kimlik tespit yönetimi yer almaktadır (Erceg, Damoska Sekuloska ve Kelić, 2020).

Blokzinciri teknolojisini benzersiz yapan özellikler arasında merkezsizlik (merkezi olmayan kontrol), zaman (işlem süresi), değişmez veri, güvenlik ve dijitalleşme gelmektedir (Kösesoy, 2019). Karaarslan ve Akbaş (2017) blokzincir teknolojisinin kullanımında en önemli faktörün "veri" olduğunu vurgulamaktadırlar. İşletme sahipleri ya da yöneticileri verinin kullanımına göre blokzincir kullanımına karar vermeye çalışırken; kullanıcıların korunması gereken haklarını, güvenliklerini ve işlemlerin şeffaflığını garanti altına alınmasını

da göz ardı edilmemelidir (Guo ve Liang, 2016). Kullanıcı boyutundan bakıldığında, blokzinciri insanlar arasında oluşan güvensizliğin ortadan kalkmasını sağlayacak bir alt yapı sağlamaktadır. Güvenliği sağlamanın yanında kişilerin kişisel haklarını ve mahremiyetlerini de korumaktadır (Karaarslan ve Akbaş, 2017). Aracı ve merkezi sistemleri kaldırarak, kendi kendini yöneten bir sistem oluşturmaktadır. Tanrıverdi vd. (2019: 210) blokzinciri kullanmanın avantajlarını “veri kaybı ve tahribatının önlenmesi, paydaşların birbirine olan güvenini artırması, şeffaflık, değiştirilememesi, silinememesi, kontrol edilemez işlemleri otomatikleştirilmesi (akıllı sözleşmeler), iptal edilemez ve kapatılmaz” olarak belirtmektedirler. Diğer tarafta ise fazla enerji tüketimi, çok pahalı bilgisayar sistemleri ve performans yetersizliği dezavantajları arasında sıralanabilir (Taş ve Kiani, 2018; Sirka, Erdelyi, Cacak and Jelemenska, 2019; Tanrıverdi vd., 2019; Karaarslan ve Konacaklı, 2020).

Günümüzde, ulusal ve uluslararası işletmeler sabit bir yerde yaşayan merkezi bir veri tabanı kullanmaktadırlar (Jantoń-Drozdowska ve Mikołajewicz-Woźniak, 2017). Facebook, Wikipedia, Ebay, Twitter, AirBnB gibi platformlar merkezi sistemler kullanmaktadırlar. Accenture (sigorta) ve Ripple (kripto para ödeme merkezi çözümleri) dağıtık ağ kullanmaktadırlar (Pilkington, 2017). Bankalar, zincir oteller gibi işletmeler merkezi ağ ile merkeze bağlıdırlar (Önder ve Treiblmaier, 2018). Durbilmez ve Türkmen (2017) merkezi ağlarda kullanılan veri tabanlarının ya da sunucuların çok kolay kötü niyetli kişilerin eline geçebileceğini ve güvenli olmadığı konusuna dikkat edilmesini gerektiğini belirtmişlerdir. 2019 yılında, Türkiye Kişisel Verileri Koruma Kurumu “Kişisel Verileri Koruma Kanunu” çerçevesinde merkezi ağlar ile çalışan British Airways, Cathay Pasifik Airway ve Marriott otel zincirine veri güvenliğini sağlayamadıkları ve ihlal ettikleri için 550,000 TL ile 1,450,000TL arasında cezalar vermiştir (KVK, 2019). Kişisel veriler turizm işletmeleri için toplanan ve güvenli olarak saklanamayan büyük bir sorun haline gelmiştir. Turistin kişisel verilerini koruyabilmek ve yüksek cezalar ödememek için 2010 yılından itibaren blokzincirinin bu sorunların çözümünde kullanılıp kullanılmayacağı tartışılmaya başlanmıştır (Guo ve Liang, 2016; Antoniadis, Spinthiropoulos ve Kontsas, 2020). 2017 yılından itibaren blokzincir teknolojisi kişisel verilerde yaşanan güvenlik açıkları ve problemlerin ortadan kaldırılmasında çözüm örnekleri oluşturmaya başladı (Lin ve Liao, 2017; Angin, 2020).

Turizm işletmelerinde ilk kullanıcıdan son kullanıcıya kadar çok karmaşık bilgi ve iletişim sistemleri kullanılır (Keskinlik, Ağca ve Karaman, 2016; Buhalis vd., 2019). Bilgi ve iletişim teknolojilerini dağıtım ağında çok iyi kullanan turizm işletmeleri, blokzincir gibi çok ileri teknolojilerde henüz istenen seviyeye ulaşmamıştır. Yerli alanyazınında blokzinciri ve turizm alanında çalışmalar (Gültekin, 2017; Ulusoy ve Dönmezi, 2018; Yıldız ve İbiş, 2019) henüz başlangıç aşamasında olmasına rağmen; yabancı alanyazınında blokzincir teknolojisinin kullanımı turizm de dâhil birçok alanda hızla artmaktadır (Önder ve Treiblmaier, 2018; Rejeb ve Karim, 2019; Buhalis, Harwood, Bogicevic, Viglia, Beldona ve Hofacker, 2019). Turizm gibi geniş yelpazede hizmet veren işletmelerde hangi alanlarda blokzincir uygulamalarının başarılı olacağı araştırılmaktadır (Gültekin, 2017; Önder ve Treiblmaier, 2018). Blokzinciri teknolojisinin turizmde var olan birden fazla aracı, merkezi sistem, güvensizlik gibi ana temel sorunlara çözüm olabilir (Varelas vd., 2019). Bu çerçevede, bu derleme araştırmasında turizm ve blokzincir alanyazınlarını harmanlayarak turizmde

blokzincir teknolojisi kavramının geliştirilmesinde farklı bir bakış açısı getirerek alana katkı yapılması planlanmaktadır.

2. Materyal ve Metot

Araştırmanın amacı turizm işletmelerinde bilgi ve iletişim teknolojilerinden blokzincir teknolojisine geçiş sürecini ve uygulama örneklerini alanyazın incelemesi ile kavramsal bir çerçeve oluşturmaktır. Bu çalışmada “blokzincir teknolojisi turizm işletmeciliğinde yaşanan sorunlara nasıl çözüm üretebilir?” sorusuna yanıt aranacaktır. Araştırmanın derinlemesine ve detaylı bilgiler verebilmesi amacı ile nitel araştırma yöntemi kullanılmıştır. Nitel araştırmalarda sıklıkla kullanılan alanyazın taraması yöntemi iki farklı disipline ait alanlarda gerçekleştirilmiştir. Bu çerçevede, blokzincir araştırma ve uygulamalarının en yoğun olduğu 2010-2020 yılları arasını kapsayan alanyazın incelemesi yapılmıştır. Araştırmada “Blokzincir”, “Bilgi ve İletişim Teknolojileri” ve “Turizm” anahtar kelimeler (İngilizce ve Türkçe) dokümanların başlığında ya da metin içinde geçmesi halinde incelemeden geçirilmiştir. Önce turizm işletmeciliğinde bilgi ve iletişim teknolojisi sonra blokzincir teknolojisi kronolojik olarak değerlendirilmiştir. Dünya genelinde turizm işletmelerinde blokzincir uygulama örnekleri Amadeus (2017), Anushya (2019) ve Tham ve Sigala (2020) çalışmalarından yararlanılarak tespit edilmiştir. Elde edilen nitel verilere içerik analizi yapılmıştır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Blokzincir Teknolojisi Alanyazın İncelemesi

Blokzincirin ilk tanımı Satoshi tarafından 2008 yılında yayınladığı raporda yapılmıştı (Satoshi, 2008). Fakat, Buterin (2015) kullanılan bitcoin tanımında ‘kayıt, para, işlem, dağıtık, defter’ kelimelerinin kullanılmadığını ve bundan dolayı anlaşılmayacağını belirterek yeni bir tanım ortaya atmıştır. Buterin (2015: 1) blokzinciri “...herkesin programları yükleyebileceği ve programları her programın mevcut ve önceki tüm durumlarının her zaman herkes tarafından görülebildiği ve zincir üzerinde çalışan programların çok güçlü kripto ekonomik olarak güvence altına alındığı yerlerde kendi kendini yürütmeye bırakabileceği sihirli bir bilgisayar” olarak tanımlamıştır. Iansiti ve Lakhani (2017: 1) ise blokzinciri tanımını “bitcoin’in ve diğer sanal paraların kalbindeki teknoloji olan blokzinciri; iki taraf arasındaki işlemleri verimli ve doğrulanabilir ve kalıcı bir şekilde kaydedebilen açık, dağıtılmış bir defterdir. Defter kendisi de işlemleri otomatik olarak tetikleyecek şekilde programlanabilir” şeklinde yaparak daha açıklık ve netlik kazandırmıştır. Ayrıca bu tanımdan yola çıkarak blokzincirinin beş temelini dağıtılmış defter, açık ve paylaşılan (herkese açık), doğrulanabilir, işlemler ve merkezsizlik olduğu netleşmiştir (Karaarslan ve Konacaklı, 2020). Şekil 1’de görüldüğü gibi, blokzinciri üç ana temel olan ‘özerklik, doğrulanmışlık ve değişmezlik’ üzerine kurulmuştur (Hackius ve Petersen, 2017).

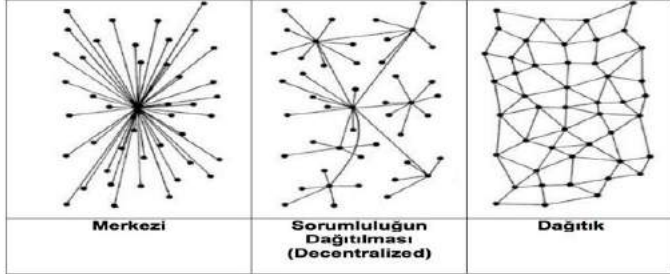
Şekil 1: Blokzincir'in 3 temel özelliği



Kaynak: Hackius ve Petersen (2017); Türkçe'ye Çeviren Bakan ve Şekkeli (2016).

Şekil 1'de belirtildiği gibi blokzincirinin üç temeli vardır ama arkasında komplike çalışma prensipleri de bulunmaktadır. Blokzincir teknolojisinin altında eşten eşe ağ, açık-kapalı anahtar şifreleme ve uzlaşma algoritmasının mükemmel bir şekilde bir araya gelmesi yatmaktadır (Buterin, 2015; Hackius ve Petersen, 2017; Filippi and Wright, 2018; Wang vd., 2019; Karaarslan ve Konacakli, 2020). Blokzincir teknolojisinin çalışmasında internet ağ sisteminin tamamen değişmesi çok önemli bir rol oynar (Şekil 2). Blokzincir teknolojisinin diğer kullanılan sistemlerden en önemli farkları ise açık, şeffaf ve değiştirilemez olmasının yanında aracı kurum ya da kişilerin olmamasıdır (doğrulamalı) (Dogantekin, 2016; Gainsbury ve Blaszczyński, 2017).

Şekil 2: Blokzincir çalışma prensibi Merkezi Olmayan Doğrulama- Dağıtık



Kaynak: TUBITAK BİLGEM (2019)

Şekil 2' de görülen noktalar ağı oluşturan eşe ait düğümleri (node) yani bir bilgisayar, laptopu, küçük ya da büyük hizmet sağlayıcı bilgisayarı temsil etmektedir (Durbilmez ve Türkmen, 2017). Bir bilgisayar eğer "tüm düğüm" olarak adlandırılıyor ise bu blokzincirindeki bütün işlemlerin geçmiş kayıtlarına sahip demektir (Casey ve Vigna, 2018). Merkezi (centralized), merkezi olmayan (decentralized) ve dağıtık (Distributed) ağ sistemleri olarak üç türü vardır (Alam, 2019). Kösesoy (2019) blokzincir teknolojisinde verinin "birbirine P2P ağı ile bağlı birden fazla bilgisayar üzerinde" tutulduğunu ve bundan dolayı dağıtık ağ olduğunu belirtmektedir.

Blokzincirinde her işlemin güvenli, şeffaf ve kayıt altına alınabilmesinin arkasında hesap defterleri teknolojisinin dağıtık olarak bulunması yatmaktadır (Eljazzar, Amr, Kassem ve Ezzat, 2018). Belin (2019) blokzincir teknolojisi ile hesap defterleri teknolojisinin karıştırıldığını savunmaktadır. Aslında, hesap defterleri (ledgers), para ile işlem yapan ve yaptırmanın herkesin bildiği çok eski bir yazılı kayıt sistemidir (Ebel ve Özel, 2005). Gökgöz (2011) hesap defterlerinin tutulması insan hafızasına güvenilmemesinden ve işlemlerin kayıt altına alınması gerekliliğinden başladığını belirtmektedir. Dahan ve Casey (2016) hesap defterlerinin çok eski olduğunu ve zaman içerisinde değişime uğradığını bundan dolayı kayıt tutulduğunu belirtmektedir.

Tablo 1'de dağıtık defter teknolojisinin yıllar itibari ile gelişimi detaylı verilmektedir. Dağıtılmış defter teknolojisi çeşitli yerlerde veya birden fazla katılımcı arasında bulunan bir veritabanı olup muhasebeye kullanılan kayıt defterleri gibi işlenmektedir (Collomb ve Sok, 2016; Dahan ve Casey, 2016; Casey ve Vigna, 2018). Eljazzar, Amr, Kassem ve Ezzat (2018) hesap defterlerini "merkezi bir yöneticisi ya da veri deposu olmayan; coğrafi olarak birden fazla alana, ülkeye veya kuruma yayılan; çoğaltılarak, paylaşılan ve senkronize edilebilen verilerin fikir birliği tutulan dijital kayıtlardır" olarak tanımlamaktadır. Dahan ve Casey (2016) blokzincirinin dağıtık hesap defteri (DHD) olmadığını ve sadece bir türü olduğunu belirtmektedir. Casey ve Vigna (2018) blokzincirinin ve dağıtık hesap defterinin birlikte çalışmalarına rağmen farklı teknolojiler olduğunu savunmaktadırlar. Bu durum diğer dağıtık hesap defteri türlerinin gelişmesine de öncülük etmiş olmaktadır.

Tablo 1: Dağıtık Defter Teknolojisi

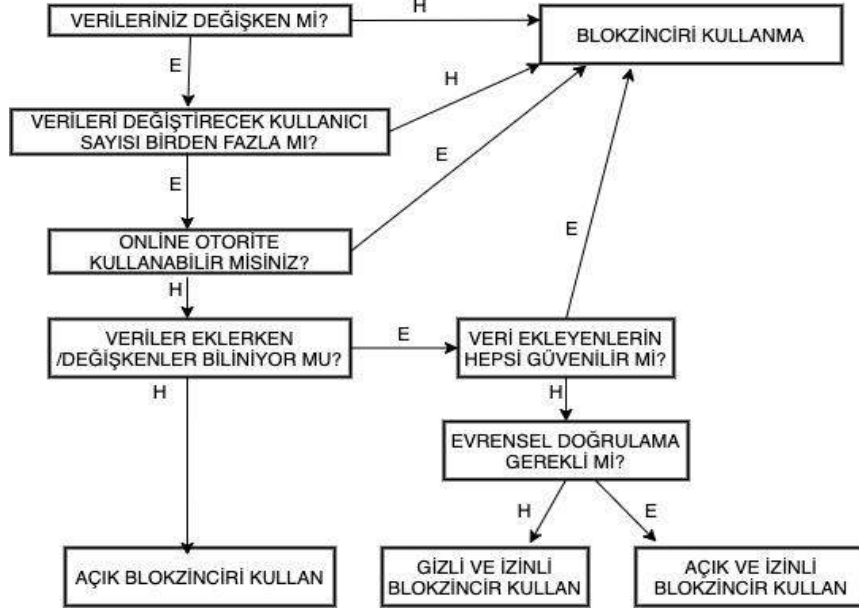
Tahmini Zaman	Tariben 500 MS	Tariben 700 MS	11. Yüzyıl	21. Yüzyıl	Gelecek
Güvence veren (Kefil, Garantör)	Kabile Şefi/Krallığın Başadamı	Merkezi Otorite	Devlet ya da Banka	Merkez Bankası ve Ticari Bankalar	Merkezsiz Bilgisayar Ağları
Hesabı Tutan	Kabile Şefinin Hafızası	Çetele	Bilanço/ Kağıtla Kayıt	Bağımsız elektronik hesap defterleri	Dağıtık, paylaşımlı herkese açık hesap defterleri
Yayımlayan	Kabile Şefi	Merkezi Otorite	Banka	Merkez Bankası	Dijital Para Algoritması
Paranın göstergesi	Rai (Fei) taş para	Pırlanta ve Değerli metaller	Hükümet kararına dayanan kağıt para (Yasal Para)	Hükümet kararına dayanan kağıt para + Dijital Para olarak Banka/Kredi Kartları	Dijital Para /Kriptopara (Bitcoin)

Kaynak: Yazar tarafından Dahan ve Casey (2016) ve Casey ve Vigna (2018) çalışmalarından adapte edilmiştir.

Blokszinciri teknolojisinin hangi sorunların çözümünde kullanılabileceği üzerine tartışmalar devam etmektedir (Karaarslan ve Konacaklı, 2020). Yöneticilerin ya da işletme sahiplerinin iş alanlarına ve farklı sorunlara göre farklı çözümler üretmeleri gerekebilir. Yapılan araştırmalar çok net bir şekilde blokszinciri teknolojisinin her tür sorunu çözemeyeceğini, hatta uygun olmayacağını belirtir (Wüst ve Gervais; 2017; Pannier,

2018; Unsal ve Kocaoglu, 2018). Blokszincir dört farklı şekilde oluşturulur (Usta ve Doğantekin, 2017). Swarn (2015) tarafından oluşturulan ve TÜBİTAK BİLGEM (2019) tarafından Türkçe çeviri yapılan blokszincir kullanıp kullanmama diyagramında; üç blokszincir türü ve duruma göre hangi tür blokszincirin tercih edilmesi gerektiği şekil 3'te belirtilmektedir.

Şekil 3: Blokszincir kullanmalı mısınız?



Kaynak: Wüst ve Gervais (2017); Türkçe çevirisi TÜBİTAK BİLGEM (2019) (E-Evet/H-Hayır)

Açık ve özel blokszincir türlerinin bazı örnekleri platform üzerinden bazıları yazılımlar ile yürütülmektedir. Blokszincir türlerinin arasında en iyi bilineni açık blokszincir ağı “Bitcoin” elektronik para sistemidir (Nofar, Gomber, Hinz ve Schiereck, 2017). Hileman’ın (2016) belirttiği gibi “Ethereum ve Bitcoin” hem açık blokszinciri hem de platform; “Ripple ve Blockstream” özel blokszinciri ve platform; “Hyperledger Project” açık blokszincir ve yazılım; son olarak “DGigital Asset ve Eris” ise özel ve yazılımdır. Wüst ve Gervais (2017) her iş modeline Blokszincirin çözüm olmayacağını vurgulamaktadır.

Karaarslan ve Akbaş (2017) blokszincir teknolojisinin kullanımında en önemli faktörün “veri” olduğunu vurgulamaktadırlar. İşletme sahipleri ya da yöneticileri veri ile ilgili sorulara göre blokszincir kullanımına karar vermeye çalışırken; kullanıcıların korunması gereken haklarını, güvenliklerini ve işlemlerin şeffaflığını garanti altına alınmasını da göz ardı etmemelidirler (Guo ve Liang, 2016). Kullanıcı boyutundan bakıldığında, blokszinciri insanlar arasında oluşan güvensizliğin ortadan kalkmasını sağlayacak bir alt yapı sağlamaktadır. Güvenliği sağlamanın yanında kişilerin kişisel haklarını ve mahremiyetlerini de korumaktadır (Mustaçoğlu, 2018). Blokszinciri teknolojisini benzersiz yapan özellikler arasında merkezsizlik (merkezi olmayan kontrol), zaman (işlem süresi), değişmez veri, güvenlik ve dijitalleşme gelmektedir (Kosesoy, 2019). Aracı ve merkezi sistemleri kaldırarak, kendi kendini yöneten bir sistem oluşturur. Böylece, kripto para ve bankacılık haricinde blokszinciri teknolojisini farklı alanlarda kullanıma imkânı oluşur (Belin, 2019; Özpınar, 2020).

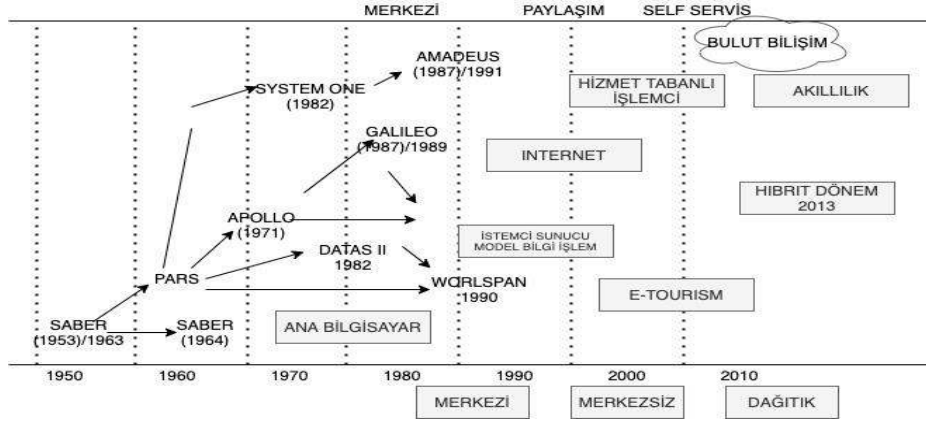
3.2. Turizm İşletmelerinde Bilgi ve İletişim Teknolojileri Alanyazın İncelemesi

İnternet turizmi yapısal, köklü ve geri dönüşü olmayan şekilde tamamen değiştirmiştir (Buhalis vd., 2019). Turizm işletmeleri bilgi ve iletişim teknolojilerini uzun yıllardır kullanmalarından dolayı; internet ile oluşan yeni ‘Dijital Dünya’ ile rahatlıkla uyum sağlanabilmiştir (Keskinkılıç, Ağca ve Karaman, 2016). Özellikle turizm dağıtım kanallarında geleneksel seyahat acentaları ve tur operatörleri (aracılar) yerine; internet üzerinden oluşan dijital seyahat acentaları (Online Travel Agencies (OTAs)) ya da tedarikçilerin (otel, havayolu) kendi internet sitelerinden direkt satışları başlamıştır (Chang, Hsu ve Lan, 2019). Bu durum geleneksel seyahat acentacılığının, tur operatörlüğünün ve seyahat/rezervasyon dağıtım ağlarının (GDS) köklü değişimlerinin de başlangıcı olmuştur.

“Küresel (Global) Dağıtım Sistemi” (kısaca GDS) Dünya genelinde yaygın halde bulunan bütün ‘Merkezi Rezervasyon Sistemlerini’ (Central Reservation System) ya da ‘Bilgisayarlı Rezervasyon Sistemlerini’ (Computerized Reservation System (CRS)) birbirine bağlayan ana sistemdir (Kurgun, Kurgun ve Güripek, 2007). CRS sistemleri turizm tedarikçilerinin (havayolu şirketleri, otomobil şirketleri ve oteller) otomatik envanter (rezervasyon) izleme sistemleridir. Buradaki en önemli konu ise, bu rezervasyon sistemlerinin bir turizm işletmesinin sahip olması ve merkezden kontrol edilmesidir. GDS kısaca birçok CRS sistemin bir araya gelmesi ile oluşmaktadır. Şekil 4’te CRS sistemlerin GDS sistemlerinin tarihsel evrimini ve

merkezi sistemden dağıtık sisteme dönüşüm sürecini göstermektedir (Kazandzhieva ve Santana, 2019).

Şekil 4: Merkezi Rezervasyon Sistemleri (CRM) ile Global (Küresel) Dağıtım Sistemleri (GDS)



Kaynak: Kazandzhieva ve Santana (2019); yazar tarafından Türkçe'ye çevrilmiştir.

Şekil 4'te görüleceği gibi "SABER, Amadeus, Galileo ve Worldspan" olmak üzere dört işletme GDS hizmeti vermektedir (Zamyatina ve Solntseva, 2019). SABER (Semi-automated Business Research Environment) 1964 yılında American Havayolları tarafından kurulan ve bütün GDS'lerin başlangıcı olarak sayılan rezervasyon sistemidir. Amadeus 4 havayolu (Fransa, Iberia, Lufthansa ve SAS) tarafından 1987 yılında İspanya'da kurulmuştur. Galileo ise 11 havayolu (Lingus, Canada, Alitalia, Austrian, BA, KLM, Olympic, Swissair, TAP, UA ve US Havayolları) tarafından 1987 yılında kurulmuştur. Son olarak Worldspan ise Delta, Northwest ve Transworld (Transworld daha sonra American Airlines olmuştur) 1990 yılında Amerika'da kurulmuştur.

Bir seyahat acentası Dünya'nın neresinde olursa olsun rahatlık ile GDS üzerinden bir başka CRM'e bağlantı kurarak rezervasyon yapar (Kurgun vd., 2007; Vinod, 2011). CRS'lerden gelen bilgiler ile GDS'ler aracı seyahat acentalarına ulaşarak, turistin istediği rezervasyonu yapabilmelerini sağlamaktadır (Keskinkılıç vd., 2016). 2000 yılından itibaren, GDS merkezi sistem bağlantıları yerine, e-ticaret gelişimi sayesinde paylaşımcı bir yapıya geçiş yapmıştır. Bu dönem özellikle internetin ve bilgi teknolojilerinin kullanımının artmasına ve yeni turizm sistemlerinin kurulmasına neden olmuştur (Buhalis vd., 2019). Turist ile CRS/GDS, havayolu, otel ve seyahat acentalarının arasına internet ve internet üzerinden yeni sistem ile servis sağlayan turizm işletmeleri girdi (Kurgun vd., 2007; Keskinkılıç vd., 2016). Birçok eski ve köklü seyahat işletmeleri bu yeni yapıya adapte olmak için çaba gösterir iken, sayısı yadigarınmayacak bir grup ise teknolojiye ve dönüşüme duyarsız kalmışlardır (Vinod, 2011). Bunun en yakın örneği ise, 2019 yılı Eylül ayında 178 yıllık Dünya'nın ilk tur operatörü Thomas Cook'un teknolojik gelişmeler ile baş edemeyerek iflas etmesidir (Konstantinova, 2019).

3.3. Turizmde Blokzincir Teknolojisi Alanyazın İncelemesi

2010 yılından itibaren turizm yeni teknolojiler ile evrilmeye devam etti. Bu yeni teknolojilerden biri olan blokzincir teknolojisi turizmde kullanım alanları bularak, yıllardır çözüm bulunamayan birçok soruna çözüm üretmeye

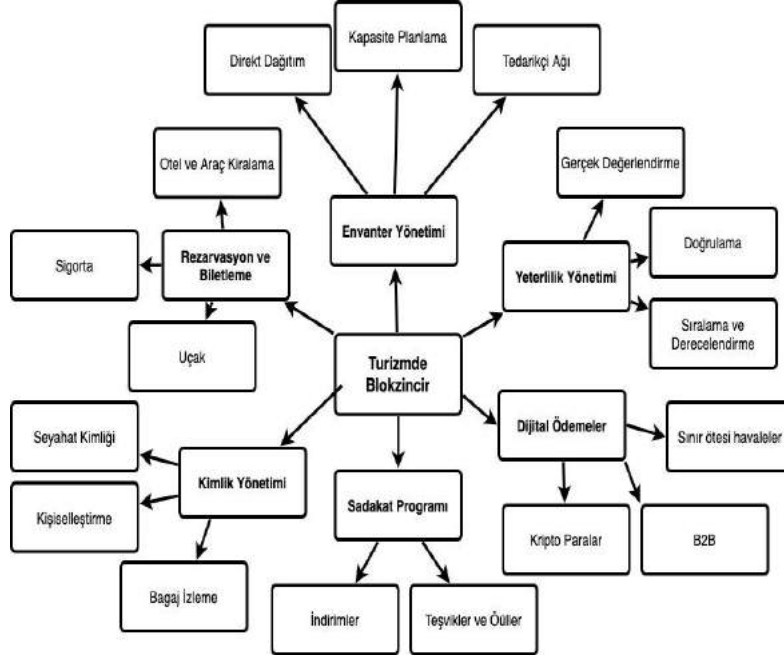
başladı. İnternet bağlantıyı sağlarken, blokzinciri güvenli işlem yapabilmeyi sağladı.

E-turizm ekosistemi hali hazırda çok karmaşık olan geleneksel rezervasyon sistemini daha da karmaşık hala getirdi. (Pilkington, 2017). Anushya (2019) turizm işletmelerinin yaşadığı bu sorunların başında ürünün bir başka hesaba transfer edilememesi/devredilememesi; yetersiz/hatalı bagaj takip sistemi; kimlik denetleme süreçlerinde yaşanan sıkıntılar, ödemelerde yaşanan güvenlik açıkları ve çifte rezervasyonlar olduğunu belirtmektedir. Blokzinciri teknolojisinin turizm de kullanılması durumunda olabilecek yararlarını Erceg vd. (2020: 4) aşağıda yer alan maddeler ile ifade etmektedirler:

- "İlgili aktörler için mevcut olan ilgili bilgi miktarını artırmak, böylece belirsizlikleri azaltmak.
- İlgili aktörler için mevcut olan alakasız bilgi miktarını azaltmak, böylece karmaşıklıkları azaltmak.
- İlgili aktörler arasındaki bilgi asimetrisinin düzeltilmesi, böylece fırsatçı davranışların sınırlandırılması.
- Aracıların dâhil olma ihtiyacını azaltmak, böylece doğrudan parasal maliyetleri azaltmak.
- Alıcılar ve satıcılar arasındaki bağlantıyı kolaylaştırmak ve böylece ticaret kalitesini arttırmak".

Amadeus (2017) tarafından hazırlanan araştırma raporunda blokzincirinin üç yıl önce kullanım alanlarını "sadeleştirilmiş ve daha güvenli yolcu kimliği belirleme, bagaj takibinin iyileştirilmesi, kullanıcı dostu müşteri sadakati programları ve seyahat acenteleri ile havayolları şirketleri arasında ödemelerin kolaylaştırılması" olarak görmekteydi. Çok kısa bir süre geçmesine rağmen, blokzincir tabanlı uygulamalar bu dört temel kullanım alanından çıkarak, çok daha geniş yelpazede kullanılmaya başlandı. Çilingir (2018) blokzinciri kullanan turizm işletmelerinin "müşterileri ile etkileşimi otomatikleştirmek, reklam maliyetlerini azaltmak, ortakları, hizmetleri ve ürünleri karşılıklı olarak tanıtmak, oteller, yakındaki kurumları ve müşterileri birbirine bağlayarak" hem motive edici etkileşimi artıran hem de hizmet kalitesinin artmasını sağlayacağını vurgulamaktadır. Şekil 5'te Blokzincir teknolojisinin uygulama alanları detaylı olarak görülmektedir.

Şekil 5: Blokzinciri Teknolojisinin Turizmde Kullanım Alanları



Kaynak: Erceg, Damoska Sekuloska ve Kelić (2020); Yazar tarafından Türkçe çevirisi yapılmıştır.

Turizmde blokzincir teknolojisini kullanımı ile saydamlık, yerleşiklik, sadakat, kimlik kontrolü artacak ve sahtekârlık, çifte rezervasyon, güvensizlik ise azalacaktır (Özdemir, Ar ve Erol, 2019). Ayrıca blokzinciri kullanımı işlem ücretlerini azaltması (Valeri, 2020) dolayısı ile giderlerin ve maliyetlerin düşmesi anlamına gelmektedir. Anushya (2019) blokzinciri teknolojisini kullanılması durumunda merkezsiz bir rezervasyon sistemi, uçaklarda gecikmelerin olmayacağı, güvenli ödeme, sorunsuz bagaj takip sistemi ve sadakat programı oluşturarak, turizmin iş yapış sisteminin kökten değişmesine neden olacağını anlaşılmaktadır. Blokzinciri teknolojisi konaklama işletmelerinde gelir yönetimi, envanter kontrolü, misafir geçmişi ve finansal yönetim gibi alanlarda kullanıma uygundur (Rejeb ve Karim 2019; Erceg, Damoska Sekuloska ve Kelić, 2020). Turizm bu uygulamaların hepsini çok karışık sistemler ile kullanmakta olup, blokzinciri teknolojisi ile hem karmaşıklık hem de güven sorunu çözülecektir (Varelas, Georgitseas, Nechita ve Sahinidis, 2019).

3.4. Turizm İşletmelerinde Blokzincir Teknolojisi Tabanlı Uygulama Örnekleri

Turizm işletmelerinde “Bilgi ve İletişim Teknolojileri” kullanımı çok uzun yıllar öncesine dayanıyor olsa da blokzincir gibi yıkıcı teknolojilerin kullanımı ve uygulama örneklerinin yayılımı beklenildiği kadar hızlı olmadı (Rashideh, 2020). 2010 yılından itibaren teknoloji firmalarının turizm platformları ve çözüm ürünleri oluşturdukları görülmektedir (Anushya, 2019; Tham ve Sigala, 2020). 2017-2018 yılları arasında turizme yönelik hizmet veren B2C ya da blokzincir teknolojisi kullanımını sağlayacak özel çözümler sunan B2B blokzincir geliştirme firma ve platformlarına ilgi artmıştır. Fakat, blokzincir ile bitcoin karıştırıldığından, blokzincirin bitcoin altında yatan bir teknoloji olarak anlaşılmadı. Bu ise blokzincir teknolojisine olan güveni sarsmaktadır. Ama diğer taraftan öncü örnekler sektörde yerlerini almaktadırlar. Tablo 2’de B2B ve B2C blokzincir tabanlı çözüm üreten platformların kuruluş yılları, kurucuları ve girişim adları ile internet siteleri bulunmaktadır.

Tablo 2: Turizm İşletmelerinde Blokzincir Uygulama Örnekleri

	Kuruluş Yılı	Kurucu	İnternet Sitesi
Tedarikçi-OTA (B2B)	2010	Darren Wang, John Hsieh	OwlNest (https://www.owlting.com)
	2014	Gregory Simon, Sean Dennis, Shannon Code	Loyal (http://www.loyal.com/)
	2015	Clarence DeLany	Accenture (https://www.accenture.com)
	2015	Armin Ebrahimi, Jeff Weitzman	ShoCard (https://shocard.com)
	2016	Gil Azrielant, Itamar Weizman, Itay Nagler, Nadav Saadia, Shachar Cotani	Cool cousin (https://www.coolcousin.com)
	2017	Maksim Izmaylove, Jakub Vysoky	Winding Tree (https://windingtree.com/)
	2017	Ilya Orlov	TravelChain (https://travelchain.io)
	2017	Jonathan Chou, Jordan Ong, Tony Tran	Beenest (https://www.beenest.com)
	2017	TUI	Bed-Swap (Blokzincir tabanlı envanter sistemi)
	2017	Dennis Becker, Gregory Harris	Mobivity (https://www.mobivity.com/)
	2017	Andrew Gaidukevich, Elena Shkarubo, Nick Vyhouski	MeetnGreetMe (https://meetngreetme.com)
	2017	Greg Webb (CEO)	Travelport (travelport.com)
	2017	Barbara Dalibard (CEO)	SITA
OTA/Tedarikçi –Turist (B2C)	2017	Nikola Alexandrov	Lockchain/Locktrip (https://locktrip.com/)
	2017	Edward Cunningham	Trippki (https://trippki.com/about-us/)
	2017	Matthew Luczynski	Travala (travala.com)
	2018	Sarah-Diane Eck	Sandblock (https://sandblock.io/#about)
	2018	Goh Choon Phong	Singapore Havayolları - Krispay
	2018	Walter Wang	PopulStay (populstay.com)
	2018	David Clarke, Allan Nahum, John Lemish	Webjet “Rezchain” (https://www.webjetlimited.com)
	2019	Kadir Özgür Oğuz, Erdem Üney, Gökhan Koç, Cem Ersözlü, Eser Sevim	Further.Network (https://further.network)

Kaynak: Amadeus (2017); Anushya (2019); Tham ve Sigala (2020) kaynaklarından yararlanılarak yazar tarafından Türkçeye çevrilmiş ve tablo olarak hazırlanmıştır.

Tablo 2’de görüleceği gibi, turizm işletmesi olup blokzincirini ilk kullanan TUI olmuştur (Konstantinova, 2019). 2017 yılında TUI, ‘BedSwap’ adını verdiği iç kontratları yönetme ve envanter kontrol mekanizması sağlayan özel blokzincir tabanlı projelerini hayata geçirdi (Vinod, 2020). TUI “Bed-Swap” özel blokzincir sistemi, şirketin talebi karşılamak için otel envanterini çeşitli satış noktaları arasında gerçek zamanlı olarak taşımaya olanak tanır. Otel gelir yönetimi altyapısına bağlanır, blokzincir sayesinde misafirlerin verilerini olarak birebir kişiselleştirir (Vinod, 2020). Ayrıca TUI, özel blokzinciri kullanarak turistik bir ürünü farklı satış noktaları arasında taşımak ve bir turizm ürününün satış marjını o andaki talep düzeyine göre gerçek zamanlı olarak artırma fırsatlarına sahip olur.

TUI’nin haricinde blokzincir tabanlı teknolojiyi kullandığını açıklayan başka bir turizm işletmesi henüz olmamıştır. Fakat turizme hizmet veren birçok teknoloji platformlarında dolaylı ya da direkt turizm ile ilgili ürünler hizmete girmeye başlamıştır. Bunun en önemli nedeni ise turizm işletmelerinin teknoloji altyapılarının blokzincir teknolojisi gibi karışık bir sistemi kurma imkânlarının olmamasıdır (Rejeb ve Karim, 2019). Bundan dolayı bu hizmeti sunan firmalar açılmıştır. ‘Bitdeal.net’ kripto para kullanımından özel blokzincir geliştirme, tedarik zinciri blokzincir geliştirme ve akıllı kontratlar geliştirme gibi turizm işletmelerine yönelik hizmetler vermektedir (Anushya, 2019).

Diğer bir firma ise Winding Tree, turizm işletmelerinde tedarikçilerin bir aracıya (GDS gibi) gerek kalmadan ürünlerini ve hizmetlerini sunabilecekleri tamamen merkezi olmayan blokzincir tabanlı çalışan bir platformdur. Turizm işletmelerinde

blokzinciri teknolojisi kullanılarak, GDS tabanlı dağıtım ağından bağımsız tedarikçi ile satıcıyı merkezlessiz ve daha az maliyetli bir platformda buluşturma özelliği vermektedir. Winding Tree sisteminde aradan kaldırılan aracı GDS olmaktadır. Komplike olan turizm dağıtım sisteminde seyahat satıcısı otel ve havayolu ile direkt bağlantı kurup, rezervasyon yapabilmektedir. Fakat sistem seyahat satıcının da aracı olarak hizmet verdiği son kullanıcı turiste ulaşan bir sistem değildir. Turistin turizm ürününe ulaşması için kurulan dağıtım sisteminde iki aracı GDS ve OTA iken, Winding Tree bunu tek aracıya (OTA) düşürmektedir. MeetnGreetMe, Cool Cousin, Locktrip, Trippki gibi sitelerde ise, turizm ürününü direkt turiste aracısız olarak eşten eşe sistemi ile yeni bir hizmet anlayışı getirdiği görülmektedir. Coolcousin, Locktrip ve Trippki siteler blokzincir teknolojisinin özelliklerinin yanında kripto para kullanımını mümkün kılarak kripto turizmin başlamasında etkin rol oynar.

TravelChain, işletmelere müşterilerini daha iyi tanımak ve gezginlerin en iyi müşteri hizmetini deneyimlemelerine yardımcı olmak için erişilebilir ve otantik akıllı veriler sağlayan merkezi olmayan blokzincir tabanlı bir platform oluşturdu (Rejeb ve Karim, 2019). TravelChain, ‘Akıllı Seyahat Ekosistemi’ çekirdeği olma yolunda turizmin bütün paydaşları ve son kullanıcıları arasında veri alışverişine eşit erişim sağlamayı amaçlamaktadır (Polukhina, Arnaberdiyev ve Tarasova, 2019). Bir diğer önemli nokta ise, turistlerden yorum ve geri bildirimlerin doğru ve tarafsız olabildiğini sağlamak amacıyla yanında turistleri daha fazla yorum yapmaya teşvik etmek için de ‘traveltoken’ kazanma şansı vermektedir. Diğer bir yararı ise, turistlerin nasıl, ne zaman ve nereye seyahat etmeleri gerektiği

konusunda daha akıllıca kararlar vermelerine yardımcı olmak için gerçek veri odaklı araştırmalar sunmasıdır.

Küçük turizm işletmelerine blokzincir tabanlı teknoloji hizmeti vermek üzere online seyahat acentası (OTA) Roomado (www.roomado.com) kurulmuştur (Nam, Dutt, Chathoth ve Khan, 2019; Antoniadis vd., 2020). Fakat, yapılan incelemede Roomado.com internet sitesinin kapanmış olduğu ve bu hizmeti veren başka bir işletmenin olmadığı tespit edilmiştir. Antoniadis vd. (2020) küçük turizm işletmelerinin aracı ile çalışmadıklarını, bundan dolayı bu tür teknolojileri kullanmaya olumlu yaklaşacaklarını belirtmektedirler.

Blokzincir teknolojisinin turizmde küçük işletmeler için kullanımını sağlayacak teknik altyapılarının olmaması ve bunu sağlayacak platformların da devamsızlığı bu teknolojiye olan güvensizliği artırabilir. Gelecek süreçte başarılı girişimler olduğu kadar başarısız girişimlerde olacaktır. Buna rağmen, blokzinciri teknolojisinin kullanım alanı turizm işletmeleri için oldukça geniş bir yelpazeye sahip olacaktır. Blokzinciri teknolojisinin turizm işletmelerinin kullanımında merkezizlik (eşten eşe ağ, merkeziz kontrol, aracısız); açıklık (şeffaflık, değişmezlik, zaman damgası); güvenlik (daha az savunmasız, güvenli işlem, inkâr edilemeyen); maliyet azaltmak (üçüncü tarafın olmadığı, işlem ücretlerinin düştüğü) ve hızlı işlem (işlem süreçlerinin otomasyonu, aerodinamik süreçler, tek bir hata noktasının olmaması) yapabilme imkânları oluşacaktır (Rejeb ve Karim, 2019).

4. Sonuç

Turizmin geleneksel yapısında, turistin bilgi toplama, satın alma ve deneyim sürecinde tedarikçi ile turist arasında birden fazla aracı vardır. Tedarikçiler tarafından 'Bilgi ve İletişim Teknolojileri' kullanılarak CRS/GDS sistemleri ile rezervasyon ve envanter kontrolü gerçekleşir. Turistin bir turizm ürünü hakkında bilgi alması ve sonrasında satın alabilmesi için geleneksel yöntemler de seyahat acentalarının ya da tur operatörlerinin aracılığına ihtiyaç duyulmaktadır. İnternet ile tedarikçiler, seyahat acentaları (OTA) ve tur operatörleri turiste online platformlar üzerinden direkt hizmet ve satış gerçekleştirir. İnternet ile bu sistem nispeten değişse de gerçek anlamlı bir yapısal değişiklik olmamıştır. Bu araştırmada bilgi ve iletişim teknolojilerinden yıkıcı bir teknoloji olan blokzincir teknolojisine geçiş süreci incelenerek, pratikte kullanılan uygulama örnekleri ile yapısal değişikliklerin nasıl olacağı tespit etmek amaçlanmıştır.

Blokzinciri teknolojisi kripto para ile karıştırılmaması gerektiğidir. Blokzinciri kripto para transferlerinin kullanıldığı bir teknolojidir ve finans haricinde kullanım alanları bulmaya başlamıştır. Turizm bunlardan sadece biridir. Turizm çok karmaşık ekosistemine sahiptir ve bu tüketici için güven sorunu, bilgi kirliliği ve suiistimale açıklık yaratmaktadır. Rashideh (2020) blokzinciri teknolojisinin turizmde aracı rolünü tamamen ortadan kaldıracığını hatta yeni araçların girmesini de engelleyeceğini belirtmektedir. Turizm tedarikçilerinin ve turistlerin de aracısız etkileşim içinde olabilmesi, blokzincir teknoloji kullanılarak oluşacak sistemlerle mümkün olacaktır. Tham ve Sigala (2020) blokzincirinin turizmin sürdürülebilir geleceğinde önemli bir role sahip olacağını belirtmektedir. Blokzincir teknolojisi sayesinde maliyetler azalacak ve verimlilik artacaktır. Blokzincir teknolojisi içine entegre edilecek kriptopara ödeme yöntemleri ile güvenli ve hızlı para transferi

sağlanacaktır. Blokzincir teknolojisi ile kurulmuş, kontrol edilebilen işlem geçmişi ile şeffaflık oluşacaktır.

Turistlerin en büyük sorunu karmaşık ve çok fazla bilgi karşısında yaşadığı güvensizlik durumudur. Özellikle turiste yanlış ya da çifte rezervasyon yapma, eksik bilgi verme gibi durumlardan yüksek seyahat maliyetleri ve güven sorunları turistlerin seyahat kararları ile satın alma eğilimlerini etkilemektedir. Turist seyahatinin rahat, keyifli ve aynı zamanda uygun maliyetli olmasını ister. Ücretler, kötü yorumlar, rezervasyon usulsüzlükleri ve sorunları seyahati daha da kötüleştirir. Ayrıca tüm turizm işletmeleri üzerinde kötü bir kullanıcı izlenimi bırakır.

Blokzincir, turizmde aracılık düzeyini tamamen ortadan kaldırarak maliyet ve güven konusunda avantajlar sunan güçlü bir teknolojidir. Blokzinciri teknolojisi turizme şeffaflık ve güvenlik sağlayarak, turistlerin daha rahat, sıklıkla ve güvenli alışveriş yaparak seyahat etmelerinde önemli bir rol oynayacaktır (Anushya 2019). Vinod (2020) blokzincirinin turizmde kabul edilebilirliğinin çok erken aşamalarında olduğunu vurgular. Kısmen bu doğru olsa da bilgi ve iletişim teknolojisi altyapısı ve uzun yıllar farklı teknolojilerin kullanımı dolayısı ile adaptasyon beklenilenden daha hızlı olabilir. Blokzinciri kullanımı ile turistler seyahat öncesi, esnasında ve sonrasında zaman kazanma, maliyeti azaltma ve şeffaf bir şekilde her şeyi kontrol edebilme açısından daha memnun edici tatiller planlayabilirler. Blokzincirin başarısında son kullanıcı deneyimi çok önemlidir. Seyahat deneyimleri, müşteri verilerinin gizliliğini ve güvenliğini korumak, blokzincir ile yeni bir seviyeye ulaşırsa çok hızlı bir şekilde benimsenecektir.

Turizm işletmeleri ise blokzincir teknolojisi kullanımı ile envanter kontrol, güvenli işlem ve az maliyet ile verimliliği artırabilir. Önümüzdeki on yıl içinde, güvenlik, yüksek hacimli işlem işleme, havayolu planlama ve havayolu operasyonları iş süreci değişiklikleri alanlarındaki birçok engelin aşılması gerekecektir. Blokzincir teknolojisinin hızlı adaptasyonu kitlesel olarak benimsenmesi ile mümkün olacaktır. Blokzinciri teknolojisinin kullanımının turistler ve turizm işletmeleri için verimliliği artırarak seyahat planının başından sonuna kadar bütün işlemlerde harcanan zamanı, maliyeti, güveni ve şeffaflığı sağlayacak bir teknoloji olması avantajlar arasında sıralanabilir. Turizm işletmeleri hem turist ile direkt iletişimde olacaklar hem de işlemlerin hepsi üst düzey otonom ve güvenlik ile gerçekleşecek. Blokzincir teknolojileri, turizmin daha sağlıklı ve güvenli ortam içerisinde yapılmasını sağlayacaktır. Blokzincir teknolojisi ile turizm işletmelerinin iş modeli, para transfer sistemleri, güvenlik ve performans artırmada yardımcı olacaktır (Rashideh, 2020).

Blokzinciri teknolojisi çok faydalı görüldüğü kadar dezavantajları da bulunmaktadır. Gatteschi vd. (2018) bu dezavantajları ölçeklenebilirlik, düşük performans, enerji tüketimi, bilinmeyen durumlarda ya da kripto para kaybedilmesi durumunda iletişime geçilecek birinin olmaması gibi birçok dezavantajları olduğuna dikkat çekmektedirler. Bu araştırmada turizm işletmeciliğinin blokzincir teknoloji uygulanması ile etkilenecek üç kategori bulunmaktadır, bunlar;

- 1) Blokzinciri teknolojiye karşı turizm ekosisteminde bulunan araçların tutumları ve algıları;
- 2) Blokzincir teknolojisinin turizmde aracılığı ortadan kaldırma özelliği ve faydaları;
- 3) Blokzincir ile merkeziz, şeffaf işlem yaparak turistin güvenliğini artıran yeni modellerin oluşması.

Sayıları gün geçtikçe artmaya başlayan turizm blokzincir uygulamalarının örnekleri yavaş yavaş çoğalacaktır. Blokzincir turizm uygulamalarının B2B ve B2C olarak iki farklı kullanım alanı bulunmaktadır. Fakat turizm işletmelerinden sadece TUI'nin blokzinciri teknolojisini üreten ve kullanan olması ve blokzincir çözümleri üretenlerin aslında teknoloji firması ya da platformları olması dikkat çekicidir. Turizm işletmelerinin blokzincir gibi karışık teknolojileri kullanmak için teknolojik altyapılarının olmaması ve bunun için gerekli yatırımların yapılmamış olması ise bu teknolojinin hızla ilerlemesinde bir engel oluşturmaktadır. Turizm işletmelerinde yeni teknolojilerin sürekli araştırılıp geliştirileceği AR-GE departmanları ve uygulama merkezlerinin olmaması da bu konuda geride kalmalarına neden olmaktadır. Küçük turizm işletmelerin araştırma yapmaya bütçe ayırmaları mümkün olamaz gibi gözükse de üniversiteler ile iş birliği yapılarak çözümler üretilebilir. Geleceği şimdi yakalamak için, turizm işletmelerinin üniversiteler ile iş birliğinde teknoloji AR-GE çalışmalarını destekleyerek turizme uygun blokzincir teknolojisi 4.0 geliştirilmesi gerekmektedir.

Bugüne kadar kabul edilen sıkıntılara dezavantaj olarak görmek yerine, potansiyel çözülmesi beklenen problemler olarak görülmelidir. Bugün için çözülemeyen sorunlar gelecekte keşfedilecek yeni teknolojiler, buluşlar ve inovasyonlar anlamına gelmektedir. Bu çalışmanın odaklandığı alan blokzincirinin turizm işletmelerine aracısız, merkezsiz ve şeffaf işlem yapabilme imkânı vermesi ve bu işlemlerin yapılabilmesine imkân tanıyan sistemlerin benimsenmesi olduğundan sınırlılıkları da bulunmaktadır. Diğer disiplinlerde, blokzincir teknolojisinin benimsenmesi ile ilgili farklı sorunlar ortaya çıkabilir. Bu nedenle, bu sonuçları daha geniş ölçekte doğrulamak için nicel yöntemi kullanmak ve sonuçları mevcut bulgularla karşılaştırmak için başka çalışmalara ihtiyaç vardır. İleride turizm uygulamalarında blokzincir teknolojisinin işlem zamanı, fazla elektrik harcaması gibi dezavantaj gözükken durumların nasıl çözümlenebileceği üzerine araştırmalar yapılabilir.

Ayrıca, ileride çok yeni kurulan blokzincir tabanlı turizm çözümlerin ve uygulamaların yapıları, çalışma prensipleri ve sonuçları incelenebilir. Turizmde blokzincir teknolojisi kavramı geliştirilerek turizme özgü modeller ve çözümler üretilmelidir. Turizme özgü bir model geliştirilerek prototip çalışmaları desteklenebilir. Turizm işletmeleri turizm blokzincir modeline ve bu modelin nasıl uygulanacağı konusundaki rehberlere çok ihtiyaç duyacaktır. Özellikle, blokzinciri turizm uygulamalarının faydalarının örnek olay incelemesi ile analiz edilmesi blokzincirinin daha iyi anlaşılabilmesi için önemlidir.

Bu çalışma ile turizm blokzincir kavramı detaylı olarak ortaya konulmuştur. Blokzincir teknolojisi yıkıcıdır ve turizmde devrim yaratabilecek özellikleri vardır. Turizm işletmelerinin dinamik yapısı ve işlem hacmi ile blokzinciri teknolojisinde sadece uygulama örnekleri görülecek bir alan olmayacağını ortaya koymaktadır. Blokzinciri teknolojisi turizmi yapısal olarak değiştirirken bunu aracısız, güvenli, şeffaf, merkezsiz, değişmeyecek, inkâr edilemeyen işlemler ile düşük maliyet ve işlem ücretleri sağlayarak; işletme sahibi, çalışan ve misafirlerin memnuniyetini artıracak şekilde yapacak olmasıdır. Sonuç olarak, blokzincir teknolojisinin turizmde iş modeli, iş fırsatları ve araçların geleceği üzerinde büyük değişim gerçekleştirebilir. Bu çalışma ile turizm işletme sahipleri, yöneticiler ve araştırmacılar için işletmelerde verimliliği artıracak stratejilerin

geliştirilmesini ve uygulanmasını destekleyecek blokzinciri teknolojisinin erken benimsenmesinde yol gösterici olacaktır.

5. Teşekkür

Makaleyi değerlendiren hakemlere değerli katkılarından dolayı, dergi editörleri Prof. Dr. Osman Sağdıç, Prof. Dr. Hüseyin Toros, Prof. Dr. Ahmet Doğan ve dergi sekreteryasını yürüten Sayın Abdulkadir Şahiner'e yayın sürecindeki yardımları için teşekkür ederim.

Kaynakça

- Amadeus. (2017). Blockchain: Harnessing Its Potential in Travel. 25 Mart 2020 tarihinde <https://amadeus.com/en/insights/research-report/blockchain-harnessing-its-potential-in-travel> adresinden erişildi.
- Angın, P. (2020). Blockchain-Based Data Security in Military Autonomous Systems. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Ejosat Özel Sayı 2020 (ISMSIT)*, 362-368.
- Anushya. (2019). How Blockchain Technology can Transform Travel and Tourism Industry?. 24 Haziran 2020 tarihinde <https://www.bitdeal.net/blockchain-in-travel-and-tourism> adresinden erişildi.
- Antoniadis I., Spinthropoulos K., ve Kontsas S. (2020). Blockchain Applications in Tourism and Tourism Marketing: a Short Review. İçinde A. Kavoura, E. Kefallonitis, P. Theodoridis (Editörler), *Strategic Innovative Marketing and Tourism* (ss. 375-384). Cham: Springer.
- Avunduk H. ve Aşan H. (2018). Blok Zinciri (Blockchain) Teknolojisi ve İşletme Uygulamaları: Genel Bir Değerlendirme, *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 33 (1), 369-384.
- Aydar, M. ve Çetin, S. (2020). Blokzincir Teknolojisinin Sağlık Bilgi Sistemlerinde Kullanımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (19), 533-538.
- Brandenburger M., Cachin C., Kapitza R. ve Sorniotti A. (2018). Blockchain and Trusted Computing: Problems, Pitfalls, and a Solution for Hyperledger Fabric, *CoRR*, arXiv, 1805.08541, 1-13.
- Buhalis D., Harwood T., Bogicevic V., Viglia G., Beldona S. ve Hofacker C. (2019). Technological Disruptions in Services: Lessons from Tourism and Hospitality, *Journal of Service Management*, 30 (4), 484-506.
- Chang Y.W., Hsu P.Y. ve Lan Y.C. (2019). Cooperation and Competition between Online Travel Agencies and Hotels, *Tourism Management*, 71, 187-196.
- Çilingir T. (2018). Turizmin Geleceği Blockchain Teknolojileriyle Değişiyor. 31 Eylül 2019 tarihinde <https://www.dijitalbiz.com/turizmin-gelecegi-blockchain-teknojileriyle-degisiyor/> adresinden erişildi.
- Durbilmez S.E. ve Türkmen S.Y. (2017). Blockchain Teknolojisi ve Türkiye Finans Endüstrisindeki Durumu, *Finans Ekonomi ve Sosyal Araştırmalar Dergisi (FESA)*, 4 (1), 30-45.
- Erceg A., Damoska Sekuloska J. ve Kelić I. (2020). Blockchain in the Tourism Industry-a Review of the Situation in Croatia and Macedonia, *Informatics*, 7 (5), 1-16.
- Gatteschi V., Lamberti F., Demartini C., Pranteda C. ve Santamaria V. (2018). Blockchain And Smart Contracts For Insurance: is The Technology Mature Enough?, *Future Internet*, 10 (20), 1-16.

- Guo Y. ve Liang C. (2016). Blockchain Application and Outlook in the Banking Industry, *Financial Innovation*, 2 (24), 1-12.
- Gültekin Y. (2017). Turizm Endüstrisinde Alternatif Bir Ödeme Aracı Olarak Kripto Para Birimleri: Bitcoin, *Güncel Turizm Araştırmaları Dergisi*, 1 (2), 96-113.
- Jantoń-Drozdowska E. ve Mikołajewicz-Woźniak A. (2017). The Impact of the Distributed Ledger Technology on the Single Euro Payments Area Development, *Equilibrium Quarterly Journal of Economics and Economic Policy*, 12 (3), 519-535.
- Karaarslan E. ve Akbaş M.F. (2017). Blokzinciri Tabanlı Siber Güvenlik Sistemleri, *Uluslararası Bilgi Güvenliği Mühendisliği Dergisi*, 3 (2), 16-21.
- Karaarslan, E. & Konacaklı, E. (2020). Data Storage in the Decentralized World: Blockchain and Derivatives. Gulsecen S., Sharma S., Akadal E. (Eds.), *Who Runs the World: DATA içinde* (ss. 37-69). İstanbul, İstanbul Üniversitesi Yayınları.
- Kazandzhieva V. ve Santana, H. (2019). E-Tourism: Definition, Development and Conceptual Framework, *Turizam: Međunarodni Znanstveno-Stručni Časopis*, 67 (4), 332-350.
- Keskinkılıç M., Ağca Y. ve Karaman E. (2016). İnternet ve Bilgi Sistemleri Kullanımının Turizm Dağıtım Kanallarına Etkisi Üzerine Bir Uygulama, *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 8 (4), 445-472.
- Konstantinova S. (2019). Digital Transformation in Tourism, *International Journal of Knowledge*, 35 (1), 187-193.
- Kösesoy İ. (2019). Nesnelerin İnterneti Güvenliğinde Blok Zinciri Uygulamaları, *Veri Bilimi*, 2 (1), 1-9.
- Kurgun O. A., Kurgun H. ve Güripek E. (2007). Turizm Pazarlamasında Küresel Dağıtım Sisteminin (GDS) Stratejik Rolü ve Önemi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 9 (1), 262-274.
- KVK (2019). 2019 Tarih ve 2019/143 Sayılı Karar Özeti. 29 Ağustos 2019 tarihinde <https://Kvkk.Gov.Tr/Icerik/5406/Kurul-Karar-Ozetleri> adresinden erişildi.
- Lin I.C. ve Liao T.C. (2017). A Survey of Blockchain Security Issues and Challenges, *International Journal of Network Security*, 19 (5), 653-659.
- Lu Y. (2018). Blockchain and the Related Issues: A Review of Current Research Topics, *Journal of Management Analytics*, 5 (4), 231-255.
- Mustaçoğlu, A. (2018). Blockchain-Based Data Sharing and Managing Sensitive Data. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (14), 235-240.
- Nakamoto S. (2008). Bitcoin P2P E-Cash Paper. 26 Ağustos 2019 tarihinde <https://Www.Metzdowd.Com/Pipermail/Cryptography/2008-October/014810.Html> adresinden erişildi.
- Nam K., Dutt C.S, Chathoth P. ve Khan M.S. (2019). Blockchain Technology for Smart City and Smart Tourism: Latest Trends and Challenges, *Asia Pacific Journal of Tourism Research*, 24 (5), 71-87.
- Özdemir A. I., Ar I.M. ve Erol I. (2019). Assessment of Blockchain Applications in Travel and Tourism Industry, *Quality ve Quantity*, 53, 1-15.
- Önder I. ve Treiblmaier H. (2018). Blockchain and Tourism: Three Research Propositions, *Annals of Tourism Research*, 72, 180-182.
- Özpinar, A. (2020). Dinamik Tüketici Talep Yönetimi Yapabilen Blokzincir/Kripto Para Tabanlı Elektrik Piyasası İşletme Modeli. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, EJOSAT Özel Sayı 2020 (HORA), 434-441.
- Pilkington M. (2017). Can Blockchain Technology Help Promote New Tourism Destinations? The Example of Medical Tourism in Moldova, *SSRN Electron Journal*. 26 Mart 2019 tarihinde <https://ssrn.com/abstract=2984479> adresinden erişildi.
- Rashideh, W. (2020). Blockchain technology framework: Current and future perspectives for the tourism industry. *Tourism Management*, 80, 104-125.
- Rejeb A. ve Karim R. (2019). Blockchain Technology in Tourism: Applications and Possibilities, *World Scientific News*, 137, 119-144.
- Sirka S., Erdelyi J., Čičák P. ve Jelemenská K. (2019). Survey on Security Threats and Algorithms in Internet of Things Environment. *17th International Conference on Emerging Learning Technologies and Applications (ICETA)* (ss. 721-726). Slovakia: Starý Smokovec.
- Tanriverdi M., Uysal M. ve Üstündağ M.T. (2019). Blokzinciri Teknolojisi Nedir? Ne Değildir?: Alanyazın İncelemesi, *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 12 (3), 203-217.
- Taş O. ve Kiani F. (2018). Blok Zinciri Teknolojisine Yapılan Saldırıları Üzerine Bir İnceleme, *International Journal of Informatics Technologies*, 11 (4), 369-382.
- Tham A. ve Sigala M. (2020). Road Block (Chain): Bit(coin)s for Tourism Sustainable Development Goals?, *Journal of Hospitality and Tourism Technology*, 11 (2), 203-222.
- Ulusoy T. ve Dönmez C.Ç. (2018). Turizm Endüstrisinde Alternatif Bir Fırsat Yaklaşımı Olarak Blockchain Teknolojisinin Kullanılması. *4. Uluslararası Türk Dünyası Turizm Sempozyumu* (s. 236-243). Türkiye: Kastamonu.
- Valeri M. (2020). Blockchain Technology: Adoption Perspectives in Tourism. V. Ratten (Editör), *Entrepreneurship and Organizational Change Managing Innovation and Creative Capabilities* içinde (s. 27-35). Cham: Springer.
- Varelas S., Georgitsea P., Nechita, F. ve Sahinidis A. (2019). Strategic Innovations in Tourism Enterprises through Blockchain Technology. A. Kavoura, E. Kefallonitis ve A. Giovanis (Editörler), *Strategic Innovative Marketing and Tourism* içinde (s. 885-891). Cham: Springer.
- Vinod B. (2011). The Future of Online Travel, *Journal of Revenue and Pricing Management*, 10 (1), 56-61.
- Vinod B. (2020). Blockchain in Travel, *Journal of Revenue and Pricing Management*, 19 (1), 2-6.
- Yıldız S. ve İbiş S. (2019). Turizm Endüstrisinde Yeni Yaklaşımlar: Dağıtık Kayıt Defteri Teknolojisi. Ş. Özdemir, E. Pelit ve A. Avan (Editörler), *19. Ulusal Turizm Kongresi Bildiriler Kitabı* içinde (ss. 855-864). İzmir: Egeus Matbaacılık.
- Zamyatina N.A. ve Solntseva O.G. (2019). Hotel Tech Ecosystem: Adaptations to Online Distribution. E.G. Popkova ve B.S Sergi (Editörler), *ISC 2019 Scientific and Technical Revolution: Yesterday, Today and Tomorrow* içinde (ss. 194-204). Cham: Springer.



A Study on Accessible Tourism Potentials of Göreme Open Air Museum

Anıl Evci¹, Candan Kuş Şahin^{2*}

¹Suleyman Demirel University, Faculty of Architecture, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4490-2562)

²Suleyman Demirel University, Faculty of Architecture, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0413-2380)

(First received 4 July 2020 and in final form 12 January 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.764073)

ATIF/REFERENCE: Evci, A., & Kus Sahin, C (2021). A Study on Accessible Tourism Potentials of Göreme Open Air Museum. *European Journal of Science and Technology*, (21), 147-153.

Abstract

The Göreme Open Air Museum, which has hosted many civilizations throughout the history, has a worldwide reputation. This region is well known in terms of natural beauty and historical features. In this study, a total of 405 people from three target groups, who visited the region, were interviewed face to face with applying a standard questionnaire. As a result of the survey, the different groups visiting the area on their accessibility way in terms of tourism potential have been studied. From the findings, it was understood that most of the foreign tourists (15%) came from the United States. Tourists came to the region with the highest rate with tour operators. The foreign visitors had reported the basic equipment and landscaping of the area to be higher than the local visitors and local people. National tourists and local people stated that the walking paths are very sloppy with many-steep lead to difficulties in reaching historical and cultural assets. As a result of the detailed examination and research carried out in the Göreme Open Air Museum and its near vicinity, which is on the UNESCO world cultural heritage conservation list, it was concluded that the existing regulations in the region should be reconsidered to review the accessibility of disabled individuals to the area and to make some new arrangements. Suggestions were made to organize the area so that all visitors could benefit from it.

Keywords: Göreme open museum, Accessible tourism, Landscape architecture.

Göreme Açık Hava Müzesi'nin Erişilebilir Turizm Açısından İncelenmesi

Öz

Bu çalışmada, tarih boyunca birçok medeniyete ev sahipliği yapmış ve dünya çapında bir üne sahip olan Göreme Açık Hava Müzesi; tarihi, doğal, kültürel ve sosyal açıdan incelenmiştir. Bu bölge, doğal güzellik ve tarihi özellik bakımından dünya genelinde bilinmektedir. Çalışmada, bölgeyi ziyaret eden yerli ve yabancı ziyaretçiler ve yerel halk olmak üzere üç hedef gruptan toplam 405 kişiye, yüz yüze görüşerek standart anket uygulaması yapılmıştır. Anket sonucunda alanı ziyaret eden farklı grupların bölgenin turizm potansiyeli açısından erişilebilirliği üzerine düşünceleri öğrenilmiştir. Elde edilen bulgulardan, en fazla yabancı turist (%15) Amerika Birleşik Devletleri'nden geldiği anlaşılmıştır. Turistler bölgeye en fazla tur operatörleri vasıtasıyla gelmiştir. Alanı ziyaret eden yabancı turistler, yerli turist ve yerel halka göre alanın temel donatılarını ve peyzaj düzenlemesini daha yüksek oranda yeterli bulmuşlardır. Yerli turist ve yerel halk özellikle yürüyüş yollarının dik ve fazla basamaklı olmasının, onların tarihi ve kültürel varlıklara ulaşmasında zorlukların oluşmasına neden olduğunu ifade etmişlerdir. UNESCO dünya kültür mirasını koruma listesinde bulunan, Göreme Ulusal Tarihi Park içindeki Göreme Açık Hava Müzesi ve yakın çevresinde yapılan detaylı inceleme ve araştırma sonucunda, bölgedeki mevcut düzenlemelerin, engelli bireylerin alana erişilebilirliği konusunda gözden geçirilmesinin ve bazı yeni düzenlemelerin yapılmasının uygun olacağı sonucuna varılmıştır. Alanın, bütün ziyaretçilerin faydalanabileceği şekilde düzenlenmesi konusunda bazı öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Göreme açık hava müzesi, Erişilebilir turizm, Peyzaj mimarlığı

* Sorumlu Yazar: candansahin@sdu.edu.tr

1. Introduction

Tourism is a generic term to cover both supply and demand. However, for simplicity and well-known basis, it could be defined as 'activities of people traveling to and staying in places outside their usual environment for holiday, recreation, leisure, or other purposes' [1]. Tourism is a dynamic and competitive industry that requires the ability to adapt constantly to customers' changing needs and satisfaction, safety and enjoyment. Moreover, it does not conform to the usual ways that industries are defined, such as manufacturing, agriculture and other industries. Its constituents a wide variety of sectors that provide diverse products and services to not only for visitors but also local residents. In this regard, the tourism activities have become an important industry without regular manufacturing process 'non-chimney business' in world wide.

However, history, culture, and natural beauty are places of attract or interest where tourists visit, typically for its inherent or an exhibited historical or cultural value [2]. Globally, millions of people with disabilities representing important percentage of the world's population while this signifies a high potential market for tourism. However, individuals with disabilities have also needs to access into attractive or sightseeing places. Hence, these areas should be designed to all visitors for their demand. In this sense, accessible design of special places enables all people to participate in regardless of their physical limitations, disabilities, age and enjoy tourism experiences [3].

Accessible tourism involves a collaborative process among all designers, policy makers, touristic agencies and end-users, including persons with disabilities and their organizations [4]. However, accessible tourism has also enabled people with access requirements to function independently and with equity through the specially designed tourism environments [5]. So, it is making easy for disabled to enjoy tourism experiences. In order to be understood these tourism activities, the characteristics and social structures of the groups of disabled tourists should be taken into consideration by the managers [6]. Moreover, it normally involves many factors, including accessing information, local transportation, accommodation, shopping, and dining [7]. Thus, it impacts the tourist beneficiaries to the wider society, engraining accessibility into the social and economic values of society. Therefore, making tourism more accessible for all group of people including disabilities are a compelling business case.

In order to be understood accessibility tourism activities, the characteristics and social structures of the groups of disabled tourists should be taken into consideration by the authorized persons [6]. Hence, the skills of planners, designers, producers, managers and other professional groups are very important for creating a sustainable accessible tourism environment [4]. However, it is necessary to design and construct not only the facilities but also attractive places for whole group of disabled tourists [7]. In this sense, making tourism more accessible for all tourist groups are not only a social responsibility but also a compelling business case for improving accessibility.

The Göreme Open Air Museum has been enrolled in UNESCO World Heritage list since 1984, and was one of the two UNESCO sites in Turkey. However, it is also one of the major places to visit in Cappadocia region where forms a coherent geographical entity and represents historical unity. Moreover, the most important and famous attraction is the complex of medieval painted cave churches carved out by Orthodox monks. The Christian monks who lived dating from 900-1200 AD, built these

churches by carving the soft volcanic rocks. There are about 10 cave churches along with rectories, dwellings, and a religious school that form a large monastic complex carved out of a roughly ring-shaped rock formation in the fairy-tale landscape of Cappadocia region. The important churches and their specifications located in Göreme open air museum as follows;

Church of the Buckle: Contains frescoes of the 12 apostles and the life of Jesus,

Apple Church: Built in approximately 1050 AD.

Chapel of St. Barbara: Dedicated to an Egyptian woman who was killed by her father for following Christianity.

Snake Church: Aptly named because of the frescoes displaying George killing the dragon,

Dark Church: Built in the 1000's AD, and displaying frescoes from the new testament,

Sandals Church: Named because of two footprints connected to many urban legends and myths.

In this study, Göreme Open Air Museum, which has an important historical place for cultural, historical and faith tourism values, has been examined in terms of accessible tourism for disabled visitors. In this sense, the current situation analysis was conducted in the area, and surveys were conducted with different type of visitors (domestic and international/foreign tourists) and local people. After the detailed analyses and survey results, demands, expectations and some suggestions on accessibility potential of that area were determined. It is envisaged that the results of the survey obtained from this study may constitute a basis for the accessibility of the region and take a guiding role in future studies.

2. Material and Method

2.1. Material

The material of this study was the Göreme Open Air Museum where located in Göreme Historical National Park in the borders of Nevşehir province, Turkey. Related maps and architectural documents were also used as auxiliary material. This place has very high reputation throughout the world due to the fact that natural features was created since thousands of years. However, it has also well-known place where the monastic education system was launched first time in human being. Thereby, from the 4th century to the 13th century AD, the monastery life was intensely experienced [8].

The study area is located 13 km away from Nevşehir province and 2 km east of Göreme township. However, there are two main gates (east and west) available to enter these regions. These are, one from the center of Göreme city and another from Ortahisar-Ürgüp motorway [9].

In the region where the terrestrial climate prevails, less clayey, sandy, tuffaceous and moisture-free soils have formed due to the continental volcanic formations. These soils, which are suitable for viticulture and orchard planting, but are not suitable for irrigated agriculture. The step-based plant formation, which turns green in the spring and disappears in the summer, spreads throughout the region. However, there is no any natural forest cover in the region except for some tree stands grown around the river valleys and dam ponds [8,9].

Currently, there are 3 parking lots with mobile stands and 9 churches in the museum which has a total size of 40.000 m².

However, there are many recreational areas and archeological structures at this region. The general topographical properties look like hilly and surrounded with many cliffs. Figure 1 shows general view of the Göreme Open Air Museum and its near vicinity.

2.2. Method

The Göreme Open Air Museum and its environment were analyzed in both general and special design principles for accessibility of not only by regular visitors but also for disabled or handicapped visitors too. However, particularly, it was carefully analyzed in view of landscape discipline. The survey was aimed to evaluate the both general design characteristics and accessibility properties of that area for disabled people. The face-to-face questionnaire method were used for three different group of visitors (A: Foreign/international visitors, B: Domestic/Turkish visitors; C: Local people/residents). This approach was considered to be most effective way and recommended by many literatures finding on similar research. Hence, two different types of questionnaires conducted and each group was evaluated in its own way.

In this subject, the sub-topics that need to be examined by making necessary literature research have been put forward and the data related to the current situation, studies and applications have been conducted by contacting administrates. In the literature research, a detailed review was conducted on national and international level, projects, brochures, magazines, catalogs, photographs, books, thesis, articles and papers which were to be examined.

The survey analyses and field study for questionnaire was conducted from 14.06.2016 to 03.07.2016. The careful observations and field surveys made at the study area. Typically, four to five hours was spending during conducting survey and questionnaires. In this regard, standard approaches were applied to the visitors by one-to-one interviews and the responds on the questions were recorded. Each questionnaire was answered between 10-15 minutes by responders.

The study was aimed to examine whether or not there is a difference between domestic/Turkish, foreign/international tourists and local people's opinions about the accessibility of the area. In this sense, the minimum number of participants was calculated according to the values determined in the target sample size [10].

However, participants were requested to rank in order of general design characteristics of area and with suitability for disabled people. The following numbered ranks used for classification of results. **1: Strongly agree, 2: Agree, 3: Undecided, 4: Disagree, 5: Strongly disagree.**

The mean values for the answers regarding the design characteristics of the area were calculated and classified as; values between; **1.00-1.50: Very adequate, 1.50-2.50: Adequate, 2.50-3.50: Unstable, 3.50-4.50: Inadequate, 4.50-5.00: Not applicable**

In the statistical analysis of a specific population that is not generally known, for the minimum sample size, 30 cases could be provided acceptable size [11]. However, if there are several subpopulations, the larger sample size is recommended. According to Özgüner (2001), for example, the smallest subgroups should contain at least 50 to 100 cases in order to be divided into different groups [12].

The participants were classified as three different subgroups according to their nationality and aim of the visiting. In each subgroup had randomly chosen participants.

The total of 405 participants (A: 167, B: 151; C: 87) that were chosen randomly, were attended that survey. The respond of participants for Göreme Open Air Museum design principles were analyzed according to survey results and standards were put forward. However, in advance of face-to-face interview and questionnaire conduction, some suggestion and opinions from responders have been noted for better design suggestions/opinions of that area.

The SPSS Statistics software 22 were used for statistical evaluation of the data. It was evaluated whether or not there were any differences between the groups according to their responds on that subject. The significance value in the ANOVA analysis is used to determine whether the difference between the averages of two or more groups is significant. The level of significance used in engineering areas is generally 0.05 that is corresponds to a 95% confidence interval [13,14]. In ANOVA analysis, the values of sigma value less than 0.05 indicate that the differences between the groups are significant.

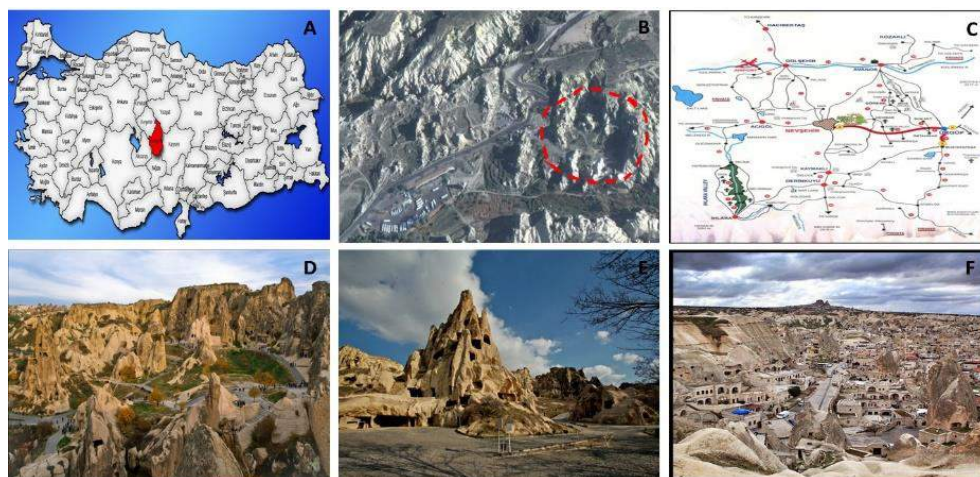


Figure 1. The location map and general view of Göreme Open Air museum (A: Nevşehir provenience location, B: Ariel view of Göreme Open Air museum, C: Maps of region, D-E: General view of region and carved churches)

3. Results and Discussion

Figure 2 shows some photographs of Göreme Open Air Museum and some facilities with some landscape properties.



Figure 2. Some facilities and landscape properties of Göreme Open Air museum (A: Parking lot front of main entrance, B: Ticket office for museum entrance, C: Tourniquets, D and E: Ornamental shop stores, F: Sign for WC, G-I: Stairs and slope footpath).

For determining general design properties of Göreme Open Air Museum's, some questions were directed to participants. It was requested to rank 'the general design characteristics of the area for tourism activities' in three different groups of people (A: foreign/international visitors; B: domestic/Turkish visitors, C: Local people/residents). In this regard, Table 1 shows the questionnaire summary of respondent's opinions on the study area.

For foreign/international visitor group; 167 participants from 41 different countries were selected. However, most of the participants 25 people (15%) was realized to be from USA. General sex distributions of foreign participants as 90 female (54%) and 77 males (46%) with the majority of them were in the 20-29 age range (43%). Moreover, most of the foreign visitors come to area with tour company (101 people). They have usually visited to area during day time (8:00 AM to 5:00 PM) with spending 1 to 2 hour during that visits. It was realized that the majority of international tourists (A) declared as 'adequate' for the design properties of the area (Mean values for respondent's values are between 1.69 to 2.33).

For domestic/Turkish visitor group; 151 participants from 30 different cities were selected. However, most of the participants 42 people (28%) was realized to be from Istanbul. General sex distributions of domestic participants as 76 female (50.3%) and 75 males (49.7%) with the majority of them were in the 20-29 age range (43%). Moreover, most of the domestic visitors come to area with their own vehicles (104 people). These visitors have also usually preferred to visit area during day time (8:00 AM to 5:00 PM) and spend 1 to 2 hours in the museum. Domestic visitors have usually higher mean values for general design properties of study area. Their ranked for these features are between mean values of 1.99 to 2.99. However, more less they have similar opinion of international visitors (ranked similarly) for 'The accessibility into natural structures'; 'The walkway's numbers and functions'; 'The lighting fixtures quantity and qualities'; 'The overall cleanliness and service quality of area'

but they reported 'unstable' opinions in many design properties. Therefore, the domestic visitors have different opinions on 'The ramp's suitability' (X: 2.54); 'The billboard's and directional sign's quantity with locational properties' (X: 2.72); 'The seating unit's numbers and characteristics' (X: 2.99); 'The parking lot's capacities and locations' (X: 2.78); 'The locational properties of basic needs units' (X: 2.62); 'The efficiency of guidance in the field' (X: 2.74) rather than foreign visitors.

For local people/residents; 87 participants were selected. However, local group of participants declared to reach Göreme Open Air Museum within 30 minutes. The general sex distributions of local participants as 41 female (47%) and 46 males (53%) with the majority of them were in the 30-99 age range (31%). In contrast to international and domestic visitors, local people have usually reached to open air museum by in very short time and preferred to visit afternoon, between 1:00 PM to 5:00 PM hours of time. Moreover, local residents (C) have found to be considerably different opinions on general design properties of Göreme Open Air Museum's rather than from both international and domestic visitors. Except the 'The overall cleanliness and service quality of area' (X: 2.35), they ranked for all other features are between mean values of 2.58 to 3.03 that means 'unstable' opinions in design properties on Göreme Open Air Museum. The highest mean value was found to be for 'The parking lot's capacities and locations' (X: 3.03), followed by 'The lighting fixtures quantity and qualities' (X: 3.0); 'The billboard's and directional sign's quantity with locational properties' (X: 2.89) and 'The locational properties of basic needs units' properties' (X: 2.88), respectively.

When the findings have evaluated statistically in terms of Sigma mean values (0.05%) at 95% confidence level, it is seen that all of mean values are less than 0.05 and the differences between the survey groups are significant in terms of evaluating the general design characteristics of the area. However, it could be summarized that foreign visitors have declared to be 'adequate' of all features that means have more optimistic vision on the accessibility properties of that area by visitors. It is important to note that local people declared to be that general design properties of area is 'unstable' in almost all features compare to international and domestic visitors. Table 1. summarize of participants responds for general design properties of Göreme Open Air Museum.

Table 1. Participants responds for general design properties of Göreme Open Air Museum

Design criteria	Participants			Mean (X)			Freq.	Sig.
	A	B	C	A	B	C		
The accessibility into natural structures	167	151	87	1.76 (0.78)	1.99 (0.96)	2.58 (1.0)	24.00	0.0
The walkway's numbers and functions	167	151	87	1.69 (0.74)	2.03 (1.04)	2.75 (0.99)	38.30	0.0
The stair's numbers and efficiency	167	151	87	1.87 (0.84)	2.27 (1.04)	2.78 (0.84)	28.03	0.0
The ramp's suitability	167	151	87	2.05 (0.87)	2.54 (1.12)	2.73 (0.99)	16.51	0.0
The billboard's and directional sign's quantity with locational properties	167	151	87	2.33 (1.06)	2.72 (1.26)	2.89 (1.01)	8.41	0.0
The seating unit's numbers and characteristics	167	151	87	2.11 (0.88)	2.99 (1.21)	2.78 (1.05)	29.53	0.0
The lighting fixtures quantity and qualities.	167	151	87	2.00 (0.83)	2.39 (1.02)	3.00 (1.15)	29.92	0.0
The parking lot's capacities and locations	167	151	87	2.12 (0.88)	2.78 (1.25)	3.03 (1.15)	24.43	0.0
The locational properties of basic needs units	167	151	87	1.94 (0.81)	2.62 (1.18)	2.88 (1.0)	31.04	0.0
The efficiency of guidance in the field	167	151	87	2.07 (0.93)	2.74 (1.26)	2.86 (1.06)	20.78	0.0
The overall cleanliness and service quality of area	167	151	87	1.70 (0.69)	2.13 (1.08)	2.35 (1.01)	16.85	0.0

*The number in parentheses are standard deviations

After the scoring for the total of 11 features in the respond of three different participant groups for general design properties of Göreme Open Air Museum (Table 1), a further survey has also conducted for accessibility design characteristics of the area for disabled or handicapped visitors.

Table 2 shows the questionnaire summary of respondent's opinions on the accessibility design characteristics of the area for disabled people. It could be seen that international visitors (A) have respond as only 'adequate' for 'The stair's suitable' (X: 2.20) and 'The need of ramp' (X: 2.27) that in all other features was responded to be 'unstable' (X: 2.58-2.97). This is important that international visitors respond usually higher mean values (low suitability) for features that suitable for accessibility of disabled visitors rather that domestic visitors and local people.

In contrast to findings on general design properties, domestic visitors (B) have usually lower mean values means that more optimistic opinions for accessibility of area for disable people compare to international visitors. They ranked for these seven features are between mean values of X: 1.86 to 2.62. except 'The waste bin's properties' (X:2.62); they have opinion as 'adequate' for other six features for disabled people.

Like domestic visitors, more less similar results were found for local residents (C). They ranked for all seven features are between mean values of X: 1.65 to 2.31 that means 'adequate' opinions on the accessibility on Göreme Open Air Museum by disabled people. It is also important to note that local people have most optimistic opinions (lowest mean values) on the area for accessibility of disabled people to area compare to other two groups (A and B).

When the collected data evaluated in terms of Sigma values, all the values were found to be less than 0.05 significance level at 95% confidence level. It is clearly indicated that the differences between the survey groups are significant in terms of evaluating the accessibility properties of the study area by disabled or handicapped individuals in current design characteristics of the area. It could be concluded that all groups have declared that the accessibility of this area by non-normal visitors (disabled or handicapped individuals) is not 'very adequate'; 'inadequate' or 'not applicable' that means some level of accessibility is possible but with some difficulties or obstacles. It is also important to note that domestic and local groups have more optimistic opinions on the accessibility properties of that area by disabled people rather than international visitors.

Table 2. The participants respond for general design properties of Göreme Open Air Museum

Features	Participants			Mean			Freq.	Sig.
	A	B	C	A	B	C		
The suitability of stairs	167	151	87	2.20 (1.07)	1.93 (1.19)	1.65 (0.65)	8.07	0.0
The need of ramp	167	151	87	2.27 (1.02)	1.86 (1.15)	1.95 (0.83)	6.61	0.01
The walkway's properties	167	151	87	2.58 (1.03)	1.96 (1.14)	2.0 (0.73)	17.27	0.0
The parking lots features	167	151	87	2.74 (1.03)	2.55 (1.27)	2.31 (0.95)	4.47	0.0
The billboard's properties	167	151	87	2.91 (0.95)	2.44 (1.15)	2.36 (0.91)	11.53	0.0
The properties basic need units (i.e. WC, administrative buildings)	167	151	87	2.80 (0.96)	2.48 (1.13)	2.24 (0.88)	9.47	0.0
The waste bin's properties	167	151	87	2.97 (0.96)	2.62 (1.21)	2.31 (0.95)	11.88	0.0

*The number in parentheses are standard deviations

4. Conclusions and Recommendations

Designing the built environment with the universal principles that is accessible to everyone could make life much easier. However, individuals with or without disorders should be have right to access all places easily. Therefore, healthy living environments and urban spaces should be design and created by taking national and international standards with considering all users. On the other hand, tourism activities are usually carried out for healthy individuals rather than disabilities while travelling and visiting to some places like historical parks, is one of the opportunities to spend time for all group of people. Besides travel activities, these could be created a fun atmosphere for visitors to enjoy. These creates a mutual interaction environment within the group, decreases social isolation and increases mental well-being.

As a result of this study, in the concept of accessible tourism activities for disabled or handicapped visitors for Göreme Open Air Museum, the following general landscape approaches and rules could be considered to be reorganizing area for visitors. Therefore, in order to make the Göreme Open Air Museum accessible and available to all visitors, some difficulties or obstacles were identified and recommendations were made. These recommendations briefly summarized in below,

Transportation: There is no municipal transportation provided access to the site. Visitors can reach the area especially by the tour companies' buses or special vehicles. Pedestrian route arranged from the center of Göreme to the area is not enough while the bicycle path is not available. However, there is no separate design for access of persons with disabilities to the area. Pedestrian path arrangements should be made between the town center of Göreme and the museum that located just 2 km away.

Parking lots: Despite the fact that there are three different car parking area at the entrance of the museum, insufficient design effects complex traffic. In addition, there are no specific parking spaces for disabled people in the existing parking lots. Hence, a sufficient number of parking spaces should be reserved for these groups and should be indicated with a standard disability sign. However, there is insufficient information (sign or billboards) for direction to parking lots.

Surface pavements: The museum is located on a hilly and sloping ground. However, currently basalt-based cube stone material, which is used in pedestrian roads, may cause problems for disabled people. These the existing floor coverings is not very useful especially walking disabled or wheelchair users that could restrict their access in the area. Moreover, non-slip materials should be preferred as the flooring material that existing surface pavements should be replaced with a more suitable material such as cast concrete or tartan.

Ramps and stairs: The elevation differences in the area are usually solved by stairs. However, the ramp is not intended especially for disabled users that hamper accessibility within the area. In addition, there are no railings and handrails on the ramp and stairs. In ramp and ladder, the railing and handrail must be used and located in accordance with the standards. At the end of the stair and steps, non-slip, protective strips should be utilized in appropriate dimensions.

Railings: The railings in the sections facing the slope of the valley are irregular and are especially dangerous for children. Therefore, the railings should be rearranged and positioned in such a way that they do not pose a hazard.

Billboards and signs: Information and orientation signs are insufficient in the area. Guidance strips should be added in the field and the number of guiding signs should be increased. The position of the sign elements should be evaluated individually.

Lightning elements: Lighting elements should be illuminated in urban outdoor spaces in a way to ensure access and personal safety. Increasing the intensity of light for people with low vision is beneficial in terms of their perception of spaces.

Seating elements: Most of the seating elements in the open-air museum are located at the wrong points, mostly at the sidewalk elevation that the wheelchair cannot enter. In the seating areas, there should be free space for the wheelchair next to the seating elements and for easy access to the wheelchair. Seats which are too close or too far to each other should be reorganized considering the standard design principles.

Terraces: By taking advantage of the existing elevation difference in the area, it should be possible to make the viewing

terraces at the appropriate places so that the inside of the museum and the environment can be seen better.

Circulation routes: Some existing trees in the area prevent circulation, alternative routes should be recommended for this circulation. Bushes and shrubs that narrow down the road with trees hanging on the walking path should be pruned regularly.

The basic need and administrative units: WC units in the area are adequate, but the reserved WC section for disabled people has usually locked or closed and disabled individuals cannot benefit from this. The disabled WC should be used and it should be ensured that disabled individuals benefit from this.

It is important to note that no administrative personnel provided to that area for providing help and guidance to disabled individuals to access area. In summary, the efforts should be taken consideration for disabled persons to eliminate these obstacles. Therefore, all newly developed designs or projects must be universal under landscape architecture projects for everyone.

5. Acknowledge

This study was carried out within the Suleyman Demirel University ÖYP Project No: ÖYP 06445-YL-14. The author wishes to thank Suleyman Demirel University, ÖYP Coordination Unit for the financial support and contribution to this research.

References

1. Özkan, A.H. (2005). Ekolojik Mimarlık Çerçevesinde Alanya'daki Turizm Olgusunun İncelenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 123s, İstanbul.
2. Tan, A. (2013). Samsun Kenti ve Yakın Çevresinin Doğal ve Kültürel Peyzaj Özelliklerinin Turizm Potansiyeli Açısından İrdelenmesi. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 193s, Ankara.
3. Çakmak, N.M. (2008). Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Engelli Tanımı Hakkında Bir İnceleme. Ankara Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, 57, 63-114, Ankara.
4. Thiberg, S. (1996). Engelsiz İnsan Yerleşmelerine Doğru E. Komut Der. Diğerlerinin Konut Sorunları. TMMOB Mimarlar Odası, 293-297, Ankara.
5. Darcy, S., Dickson, T. (2009). A Whole-of-Life Approach to Tourism: The Case for Accessible Tourism Experiences. Journal of Hospitality and Tourism Management, 16(1), 32-44.
6. Buhalis, D., Darcy, S. (2010). Aspects of Tourism: Accessible Tourism: Concepts and Issues. Channel View Publications, 336p, Bristol.
7. Ayyıldız, T., Atay, H., Yazıcı, A. (2014). Konaklama İşletmelerinin Engelliler İçin Olanakları Ve Yöneticilerin Görüşleri: Kuşadası Örneği. Gazi Üniversitesi Turizm Fakültesi Dergisi, 2, 84-100.
8. <http://www.goreme.bel.tr/tr/goreme-genel-bilgiler>, Reach date: 09.04.2015.
9. <http://www.nevsehirkulturturizm.gov.tr/TR,74202/genel-bilgiler.html>, Reach date: 25.12.2015.
10. Baş, T. (2005). Anket. Seçkin Yayıncılık, 231s, Ankara.
11. Gardner, G. (1978). Social Surveys for Social Planners. Open University Press, 176p, Milton Keynes.
12. Özgüner, H. (2001). Publicand Propessional Attitudes to Naturalistic Landscapes in Urban Areas. The University of Reading, Department of Horticulture and Landscape, Ph.D. Theses, 293p, Reading-England.
13. Kalaycı, Ş. (2010). SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri. Asil Yayın Dağıtım, 425s, Ankara.
14. Kepek, E. (2016). Kentsel Dönüşüm Amaçlı Yapısal Risk Sınıflandırması İçin Bir Model Önerisi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi. 180s, Isparta.



Erzincan'da Kuru Fasulye Üretiminde Tespit Edilen Zararlı Türler

Engin Kılıç^{1*}, Serbay Çelebi²

¹ Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Eczacılık Fakültesi, Temel Eczacılık Bilimleri Bölümü, Erzincan, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6838-5977), enginfk@mail.com

² Tarım ve Orman Bakanlığı, Erzincan İl Müdürlüğü, Erzincan, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8811-4763), eray.celebi@hotmail.com

(İlk Geliş Tarihi 28 Ağustos 2020 ve Kabul Tarihi 7 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.786977)

ATIF/REFERENCE: Kılıç, E. & Çelebi, S. (2021). Erzincan'da Kuru Fasulye Üretiminde Tespit Edilen Zararlı Türler. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 154-159.

Özet

Erzincan ili yemeklik tane baklagiller üretimi için uygun toprak ve ekolojik şartlara sahiptir. Keza Erzincan ve yöresinde Sahte Dermason olarak bilinen yerli popülasyon kuru fasulye çeşidi yoğun olarak ekilmektedir. En fazla fasulye üretim yapılan ilçe Çayırlı ilçesidir. Erzincanda kuru fasulye ekim alanlarında 2017-2018 yılları arasında yapılan sürvey çalışması sonucunda, toplam 7 türün zararlı olduğu tespit edilmiştir. Bu türlerden tüm üretim alanlarında ve depolarda sırasıyla *Apis fabae*, *Tetranychus urticae*, *Acanthocelides obtectus* 'un yoğun olarak bulunduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Kuru fasulye, *Apis fabae*, *Tetranychus urticae*, *Acanthocelides obtectus* Erzincan

Pest Species Determined in Dry Bean Production in Erzincan

Abstract

Erzincan has suitable soil and ecological conditions produce edible legumes. Likewise, the local population known as Dermason in Erzincan and its region is cultivated intensively. The district with the highest dry bean production is the Çayırlı town. As a result of the survey conducted in the cultivation of dry beans in Erzincan between 2017-2018, a total of 7 arthropods species were found to be pests. It has been determined that among these species, *Apis fabae*, *Tetranychus urticae*, *Acanthocelides obtectus* to be intense in the field and storage respectively.

Key words: Dry bean, *Apis fabae*, *Tetranychus urticae*, *Acanthocelides obtectus*, Erzincan

* Sorumlu Yazar: enginfk@mail.com

1.Giriş

Kuru fasulye ucuz protein kaynağı olmasından dolayı özellikle gelişmekte olan ülkelerde nüfusun beslenme gereksinimlerinin karşılanması, kırsal nüfusun geçiminin sağlanması açısından dünyada olduğu gibi ülkemizde büyük önem arz eden bir tarla bitkileri ürünüdür. *Phaseolus vulgaris* L., dünya mutfağında farklı tahıllarla birlikte tüketilerek, insan vücudu tarafından sentezlenemeyen ve günlük olarak düzenli şekilde dışarıdan alınması gereken “esansiyel amino asitler” bakımından dengeli beslenmenin sağlanmasında büyük öneme sahiptir (Karaman A., Önder, M., 2017).

Kuru fasulye dünyada en çok yetiştiriciliği yapılan baklagil türüdür. Yetiştiriciliği dünya geneline yayılmış olsa da daha çok Asya ve Amerika kıtasında yetiştirilen kuru fasulye ekimi FAO 2016 verilerine göre 2000 yılında 23,8 milyon ha iken %23,3 artarak 2016 yılında 29,4 milyon ha’ya ulaştığı, 2016 yılı FAO verilerine göre dünya kuru fasulye üretimi 26,8 milyon ton olarak gerçekleştiği bildirilmektedir (Bolat, M, 2017). TÜİK verilene göre ise ülkemizde 2017 yılında 897 bin da alanda 239 bin ton üretimi yapılmış ve bu toplam baklagiller içerisinde %20 paya sahiptir (Anon.,2018). Erzincan ise 30.675 dekar alanda 4,210 ton i üretim yapmış ve ülkemizde üretim sıralamasında 8 olarak yerini almıştır. (Anon. 2018)

Kuru fasulyenin ülkemizdeki üretimi çeşitli sebeplerden ötürü azalış göstermektedir. Bunların başında kuru fasulyede görülen zararlılar gelmektedir. Kuru fasulyede ülkemiz ekolojik şartlarında; *Apis fabae*, *Bemisia tabaci*, *tohum böcekleri (Acenthocelides obtectus, Burucus spp.) Gryllotalpa, gryllotalpa, Heliotis armigera*, akarlardan *Tetranychus urticae, Tetranychus cinebaricus*, salyangozlardan *Helix spp.*, türlerinin zararlı olduğu bildirilmektedir (Anon., 2019; Akdağ, C. 2002; Aydemir, M., 2008; Kaplan E., ve ark.2018). Özellikle afit türleri ve *T. urticae*, yapraklarda alt kısımlarda beslenirken bitki virüs hastalıklarında taşıyarak bitkinin hastalanmasına ve büyük verim kayıplarına neden oldukları bildirilmektedir

(Akdağ, C., 2002, Aydemir, M., 2008; Kaplan E., ve ark.2018). Erzincan kumlu toprak yapısına sahip olup, yemeklik tane baklagiller üretimi için son derece uygun ekolojik şartlara sahiptir ve Doğu Anadolu bölgesinde yemeklik tane baklagillerin üretim merkezi konumunda olup, halk arasında Sahte Dermason denilen kuru fasulye tipi yoğun bir şekilde üretilmektedir (Anon, 2019). Erzincan’da kuru fasulye üretimini sınırlayan faktörlerden biride tarımsal zararlılardır. Bu tarımsal zararlıların ve zarar şekillerini belirlemek için 2017-2018 yılları arasında Erzincan’da kuru fasulye üretim alanlarında survey çalışmaları yapılmıştır.

2.Material Ve Metot

2.1. Materyal

Çalışmanın ana materyalini, Kemah, Kemaliye, Merkez, Otlukbeli, Refahiye, Tercan, Çayırılı, Üzümlü, İliç ilçelerinde kuru fasulye üretim alanları incelenerek, zararlı olan böcek, akarlar bu çalışmanın materyalini oluşturmaktadır.

2.2. Yöntem

2.2.1.Arazi Çalışmalarının Yürütüldüğü Alanlar

Arazi çalışmaları 2017-2018 yıllarında Mayıs-Ağustos aylarında, Erzincan Tarım ve Orman İl Müdürlüğü’nün kayıtlarında yer alan yoğun fasulye ekim alanlarının bulunduğu ilçe ve köylerde yapılmıştır. (Tablo 1). Surveyde incelenecek tarla alanının, survey bölgesindeki kuru fasulye ekim alanlarını temsil eder nitelikte olması için survey çalışmaları sistematik örnek alma yöntemine göre yapılmıştır (Bora ve Karaca 1970). Bu yöntem gereğince, belirlenen güzergahlarda bitkilerin ilk çiçeklenme öncesi, çiçeklenme dönemi ve çiçeklenme sonrası (Aktaş ve ark., 1997) ve belirlenen survey alanlarındaki (Tablo 1) kuru fasulye ekiliş alanlarına göre belirlenmiş tarla sayısı ve büyüklüğü de dikkate alınarak ekim alanının en az % 1 kadarını temsil edecek şekilde tesadüfi örnekleme yapılmıştır.

Tablo 1. Erzincan İlinde Yoğun Olarak Fasulye Ekim Alanlarının Bulunduğu İlçe ve Köyler

İlçeler	Köyler
Çayırılı	Harmantepe, Yeşilyaka, Verimli, Sırataş, Yaylakent, Balıklı, Atatürk Mah., Barbaros Mah., Fatih Mah.
İliç	Altıntaş, Çayyaka
Kemah	Hakbilir, Olukpınar, Doğanbeyli
Kemaliye	Demir
Merkez	Mollaköy, Yalınca, Konakbaşı, Günbağı, Tatlısu, Karataş, Soğukoluk, Tepecik
Otlukbeli	Karadivan, Söğütlü
Refahiye	Kazören, Sarıbayır, Aşağısütlü, Dolaylı, Çukuryazı
Tercan	Çadirkaya, Edebük, Sağlıca
Üzümlü	Bayırbağ, Altınbaşak, Karakaya, Çamlıca, Çadırtepe

2.2.2.Kuru Fasulyede Zararlı Olan İntertabraların Belirlenmesi

2017-2018 yıllarında, Erzincan ilindeki kuru fasulye ekilen alanlar, çıkış sonrası-çiçeklenme öncesi, çiçeklenme dönemi ve tohum bağlam dönemlerinde ziyaret edilerek zararlıların tespiti yapılmıştır. Hasattan sonra ise kuru fasulye ve diğer kuru baklagiller satan ticaret hanelerin depoları ziyaret edilerek depolardaki zararlı olan böcekler tespit edilmiştir. Tür teşhisleri homoptera ve akarlar için preparat hazırlanmış, diğer gözle görülebilen irilikteki böcekler ise steriomikroskop kullanılarak

yapılmıştır. Bazı türlerin tam teşhis yapılamadığından cins seviyesinde verilmiştir.

3.Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1.Survey Sonucu Kuru Fasulye Üretim Alanlarında Tespit Edilen Zararlı Türler Ve Zararları

Erzincan ilinde 2017-2018 yıllarında, survey yapılan Kuru fasulye üretim alanları ve tespit edilen zararlı türler tarlada ve depolar olmak üzere iki ayrı alanda tespit edilmiştir (Tablo2, Tablo 3, Tablo4)

Tablo 2. 2017 yılı Erzincan ilinde Sürvey yapılan Kuru fasulye ürerimi alanları ve tespit edilen Zararlı türler

İlçeler	Köyler	Tespit edilen zararlı türler
Çayırlı	Harmantepe, Yeşilyaka, Verimli, Sırataş, Yaylakent, Balıklı, Atatürk Mah., Barbaros Mah., Fatih Mah.	<i>Apis fabae</i> , <i>Tetranychus urticae</i> , <i>Helicoverpa armigera</i> , <i>Acanthoscelides obtectus</i>
İliç	Altıntaş, Çayyaka	<i>Apis fabae</i> , <i>Tetranychus urticae</i> , <i>Acanthoscelides obtectus</i>
Kemah	Hakbilir, Olukpınar, Doğanbeyli	<i>Apis fabae</i> , <i>Tetranychus urticae</i> , <i>Helicoverpa armigera</i> , <i>Acanthoscelides obtectus</i>
Kemaliye	Demir	<i>Apis fabae</i> , <i>Tetranychus urticae</i> , <i>Helicoverpa armigera</i> , <i>Acanthoscelides obtectus</i>
Merkez	Mollaköy, Yalınca, Konakbaşı, Günbağı, Tatlısu, Karataş, Soğukoluk, Tepecik	<i>Apis fabae</i> , <i>Tetranychus urticae</i> , <i>Helicoverpa armigera</i> , <i>Acanthoscelides obtectus</i>
Otlukbeli	Karadivan, Söğütlü	<i>Apis fabae</i> , <i>Tetranychus urticae</i> , <i>Acanthoscelides obtectus</i>
Refahiye	Kazören, Sarıbayır, Aşağısütlü, Dolaylı, Çukuryazı	<i>Apis fabae</i> , <i>Tetranychus urticae</i> , <i>Acanthoscelides obtectus</i>
Tercan	Çadirkaya, Edebük, Sağlıca	<i>Apis fabae</i> , <i>Tetranychus urticae</i> , <i>Acanthoscelides obtectus</i>
Üzümlü	Bayırbağ, Altınbaşak, Karakaya, Çamlıca, Çadırtepe	<i>Apis fabae</i> , <i>Tetranychus urticae</i> , <i>Helicoverpa armigera</i> , <i>Acanthoscelides obtectus</i>

Tablo 3. 2018 yılında Erzincan ilinde Sürvey yapılan Kuru fasulye ürerimi alanları ve tespit edilen Zararlı türler

İlçeler	Köyler	Tespit edilen zararlı türler
Çayırlı	Harmantepe, Yeşilyaka, Verimli, Sırataş, Yaylakent, Balıklı, Atatürk Mah., Barbaros Mah., Fatih Mah.	<i>Apis fabae</i> , <i>Tetranychus urticae</i> , <i>Helicoverpa armigera</i> , <i>Franklinella occidentalis</i> , <i>Acanthoscelides obtectus</i>
İliç	Altıntaş, Çayyaka	<i>Apis fabae</i> , <i>Tetranychus urticae</i> , <i>Acanthoscelides obtectus</i>
Kemah	Hakbilir, Olukpınar, Doğanbeyli	<i>Apis fabae</i> , <i>Tetranychus urticae</i> , <i>Helicoverpa armigera</i> , <i>Emposca spp</i> , <i>Nezara viridula</i> , <i>Franklinella occidentalis</i> , <i>Acanthoscelides obtectus</i>
Kemaliye	Demir	<i>Apis fabae</i> , <i>Tetranychus urticae</i> , <i>Helicoverpa armigera</i> , <i>Acanthoscelides obtectus</i>
Merkez	Mollaköy, Yalınca, Konakbaşı, Günbağı, Tatlısu, Karataş, Soğukoluk, Tepecik	<i>Apis fabae</i> , <i>Tetranychus urticae</i> , <i>Helicoverpa armigera</i> , <i>Emposca spp</i> , <i>Nezara viridula</i> , <i>Franklinella occidentalis</i> , <i>Acanthoscelides obtectus</i>
Otlukbeli	Karadivan, Söğütlü	<i>Apis fabae</i> , <i>Tetranychus urticae</i> , <i>Helicoverpa armigera</i> , <i>Emposca spp.</i> , <i>Acanthoscelides obtectus</i>
Refahiye	Kazören, Sarıbayır, Aşağısütlü, Dolaylı, Çukuryazı	<i>Apis fabae</i> , <i>Tetranychus urticae</i> , <i>Helicoverpa armigera</i> , <i>Franklinella occidentalis</i>
Tercan	Çadirkaya, Edebük, Sağlıca	<i>Apis fabae</i> , <i>Tetranychus urticae</i> , <i>Helicoverpa armigera</i> , <i>Emposca spp.</i> , <i>Franklinella occidentalis</i> , <i>Acanthoscelides obtectus</i>
Üzümlü	Bayırbağ, Altınbaşak, Karakaya, Çamlıca, Çadırtepe	<i>Apis fabae</i> , <i>Tetranychus urticae</i> , <i>Helicoverpa armigera</i> , <i>Nezara viridula</i> , <i>Franklinella occidentalis</i> , <i>Acanthoscelides obtectus</i>

Tablo 4. Depolarda tespit edilen zararlı türler

Yıl	Zararlı Tür	Depo
2017	<i>Acanthoscelides obtectus</i>	Erzincan -Merkez
2018	<i>Acanthoscelides obtectus</i>	

Erzincan ilinde sürvey yapılan kuru fasulye ürerimi alanları ve tespit edilen Zararlı türlerin takımı, familyası, cins veya tür ve zarar şekilleri ise şu şekilde olduğu tanımlanmıştır (Tablo 5).

Tablo 5. Erzincan ilinde Sürvey yapılan Kuru fasulye üretim alanları ve tespit edilen Zararlı türler ve zarar şekilleri.

Takımı	Familyası	Zararlı Tür	Gözlenen Zarar Şekli
Hemiptera	Apididae	<i>Apis fabae</i>	Zarar gören bitkilerde bodurlaşma olduğu, çok sayıda yaprak biti yaprağın kıvrılmasına neden olduğu, yaprakların yapışkan bir hal almasına ve tozlarla kirlenince yaprağın kirliliği bir görünüm olarak fumanin adı verilen bir görünüme sahip olduğu gözlenmiştir.
	Cicadellidae	<i>Empoasca</i> spp	Özellikle yaprak kenarlarını sokucu emici ağız parçalarıyla sokup bitki özsuğunu emerek zararlı oldukları, yaprakta delinmeye neden oldukları ve yaprağın bu delik etrafında kıvrıldığı ve deliğin etrafının ise siyah bir renge büründü gözlenmiştir.
Coleoptera	Bruchidae	<i>Acanthoscelides obtectus</i>	Bu zararlı hem tarlada hemde depoda görülmüştür. Baklayla beslenme esnasında, deyim yerinde ise tohumu delik deşik etmekte, bazende tohumu tamamen yedikleri gözlemlenmiştir.
Lepidoptera	Noctuidae	<i>Helicoverpa</i> spp	Bu türün larvaları tarla şartlarında, bitkinin tomurcuklarını, yapraklarını, baklalarını ve bakla tanelerini kemirerek beslediği gözlenmiştir.
Hemiptera	Pentatomidae	<i>Nezara viridula</i>	Tarlada bitkilerin çıkış döneminden hemen sonra, erken dönemde bitkinin tomurcukları ile beslediği gözlemlenmiştir.
Thysanoptera	Thripidae	<i>Franklinella occidentalis</i>	Böcek genç fide ve tomurcuklar üzerinde beslenmekte, bitkide gelişme geriliği gözlenmekte ve bitki yapraklarının ilerleyen zamanda kahverengiye dönerek kıvrıldığı gözlenmiştir.
Acari	Tetranychidae	<i>Tetranychus urticae</i>	Yaprak altlarında ağ ördükleri, bitki özsuğunu emerek beslendikleri gözlenmiş, baklada ise baklayı delip özsuğunu emdikleri gözlenmiştir.

Erzincan ili kuru fasulye üretimi açısından ülkemizde önemli bir yer kaplamaktadır. İl Tarım ve Orman Müdürlüğü'nün verilerine göre Erzincan'da kuru fasulye ekim alanları hasat

edilen alan, dekara verim ve üretim miktarı yıllara göre değişmektedir. (Tablo 6)

Tablo 6. Erzincan ili kuru fasulye ekilen alan, hasat edilen alan, dekara verim ve üretim miktarları (2017-2018) (Anon. 2019)

İlçeler	Ekilen alan (Dekar)		Hasat edilen alan (Dekar)		Dekara verim (kg /da)		Üretim miktarı (Ton)	
	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018
İlçeler /YIL	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018
Çayırılı	17000	12999	17000	12999	168	157	2862	2041
İliç	100	100	100	100	100	100	10	10
Kemah	50	55	50	55	120	109	6	6
Kemaliye	145	130	145	130	179	100	26	13
Merkez	12000	11000	12000	11000	94	98	1129	1079
Otlukbeli	220	220	220	220	114	95	25	21
Refahiye	710	750	710	750	99	88	70	66
Tercan	250	250	250	250	200	88	50	22
Üzümlü	200	200	200	200	160	110	32	22

Kuru fasulye üretim miktarı yıllara göre değişen Erzincan ilinde en büyük problemlerden biride hiç şüphesiz tarımsal zararlılardır. Yapılan bu sürvey çalışmasında, ülke ekonomisi için baklagillerde önem arz ilçe ve köylerde toplam 7 farklı zararlı tür tespit edilmiş olup, tüm alanlarda en çok zararlı olan ve öne çıkan türler *Apis fabae*, *Tetranychus urticae*, ve *Acanthoscelides obtectus* olduğu belirlenmiştir. Erzincanda ekonomik zarar oluşturan türlerin zararları ile yapılan gözlemlerde;

Apis fabae, özellikle bitkilerin çıkış dönemlerinden sonra yaprak alt taraflarında, gövde kısımlarında lokal olarak ve sabit bir şekilde bir arada durmakta ve bitki özsuğunu emdikleri görülmektedir. Bitkide ilerleyen aşamada solgunluğa ve gelişme geriliğine den oldukları gözlenmiştir. Bunun yanında bir çok yapılan çalışmada virüs hasatlıklarında taşıdıkları bildirilmektedir (Aydemir, M., 2008).

Tetranychus urticae bitkinin hem genç döneminde hemde ilerleyen gelişme dönemlerinde görülmüş ve yaprakların altlarının bir ağ tabakası şeklinde sarıldığı ve mikroskop altında bakınca bu ağ tabakalarının altında çok sayıda akar olduğu ve birki öz suyunu emerek beslendikleri görülmüştür. Bu türünde birçok virüs hastalığına vektörlük ettiği yapılan çok sayıdaki çalışmalarda belirtilmiştir (Aydemir, M., 2008).

Acanthoscelides obtectus adlı tohum böceği erzincanda hem tarlada hemde depoda zararlı olduğu özellikle baklalarda çok zararlı olduğu gözlenmiştir. Depolarda zararlı olan

Acanthoscelides obtectus türün larvası, zarar şekli ve ergini ise şekil 1 de verilmiştir(Aydemir, M., 2008).



Şekil 1. Depolarda zararlı olan *Acanthoscelides obtectus*, (larva, ergin, zararı)

Kuru fasulyede zararlı olan bu türlerden afidler, kırmızı örümcekler virüs hastalıklarının yayılmasında vektörlük ettiği bildirilmekte (Aydemir, M., (2008), Erzincan'da tüm üretim alanlarında yaygın olan bu türlerinde virüs hastalıklarına neden olacağı düşünülmektedir. Hem zararlı türler hemde virüs hastalıkları ekonomik kayıpların artmasına neden olduğu düşünülmektedir. Tohum böceklerinin ise hem tarlada hemde depolarda zararlı olduğu görülmektedir. Erzincan'da sürvey yapılan depolarında standart depo koşullarına sahip olmadığı belirlenmiştir. Bu durumun zararlı böcekler için uygun şartların oluşmasına ve popülasyonlarının artıp daha fazla ürün kaybına neden olacağı kanısına varılmıştır.

4.Sonuç

Sonuç olarak, Erzincan kuru fasulye üretim merkezlerimizden biri olup, devletimizin son yıllarda damlama sulama sistemlerini teşvik etmesi ve fasulye üretim alanlarında da uygulanması çiftçilerimizin işini kolaylaştırmaktadır. Bu durumda çiftçileri daha fazla kuru fasulye üretmeye teşvik ettiği görülmüştür. Kuru fasulye üretimini sınırlayan en önemli faktörlerin başında tarımsal zararlılar gelmekte ve bu zararlılar büyük ekonomik kayıplar oluşturmaktadır. Keza Erzincan'da yaptığımız sürvey çalışmasında, 7 farklı zararlı türü tespit edilmiştir. Bu zararlıların birçoğunun çiftçiler tarafından bilinmediği fark edilmiştir. Keza ekilen alanlardan beklenen verim elde edilemediği görülmüştür. Bu verim düşüşlerindeki etkil faktörlerden birinde zararlıların olduğu düşünülmektedir. Erzincan'da çeşitli teşviklerle kuru fasulye üretim alanlarında artışlar görülmüş, ancak bitki koruma etmenleriyle mücadele edilmediğinden bu durum üretime yeterince yansımamıştır. Yapılan bu çalışma ile kuru fasulye üretim alanlarında bulunan zararlıların tespiti yapılmış, bu zararlılarla mücadele programlarının oluşturulması gerekliliği görülmüştür.

5.Teşekkür

Tarım ve Orman Bakanlığı, Erzincan Tarım ve Orman İl Müdürlüğü'nün arazi çalışmalarında verdiği destekten ötürü teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynakça

- Akdağ C. 2002. Yemelik tane baklagiller. Gaziosman paşa üniveristesi, Ziraat fakültesi yayınları No:10, ders Notları seri No:4
- Aktaş, H., Bostancıoğlu, H., Tunalı, B. and Bayram, E. 1997. Reaction of some wheat varieties and lines against to root and foot rot disease agents in the laboratory conditions. J.Turk.Phytopath:10(1):1-24.
- Anonim. 2019. Tarım ve orman bakanlığı, Erzincan Tarım ve Orman İl Müdürlüğü Bitkisel Üretim ve bitki sağlığı şubesi.
- Anonim, 2018. Türkiye İstatistik Kurumu, Bitkisel Üretim İstatistikleri. www.tuik.gov.tr
- Aydemir, M., (2008). Zirai Mücadele Teknik Talimatları. Cit.1-2-3-4-5. Başak Matbaacılık ve Tan. Hiz. Ltd. Şti. Ankara-Türkiye
- Bolat, M. (2017). Ürün raporu, Kuru fasulye. Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü. Gıda, Tarım Ve Hayvancılık Bakanlığı Araştırma ve Teknoloji Geliştirme Kampüsü Gayret Mah. Fatih Sultan Mehmet Bulvarı 06170 Yenimahalle/Ankara.
- Bora, T. ve Karaca, İ. 1970. Kültür bitkilerinde hastalığın ve zararın ölçülmesi. Ege Üniversitesi Yardımcı Ders Kitabı, Yayın No: 167, E.Ü. Mat., Bornova-İzmir, 8s.
- Kahraman,A., Önder, M., (2017). Ekim Zamanlarının Kuru Fasulyede Bazı Kalite Özellikleri Üzerine Etkileri. Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi, 26 (Özel Sayı): 149-154

Kaplan E., Bal S.S., Ayç ek, M., (2018). Bingöl İlinde Yetiştirilen Bazı Fasulye (*Phaseolus vulgaris*)  eşitlerinde Tespit Edilen Böcek Populasyonları ve *Acanthoscelides*

obtectus'a Tepkileri. Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi, 27 (1): 47–54



Nesnelerin İnternetinde Kullanılan Kablosuz Algılayıcı Cihazlar için Bilgi Merkezli Ağ Mimarisinin Uygulanabilirliği Araştırması

Çiğdem Eriş^{1*}, Pınar Sarısaray Bölük²

^{1*} Bahçeşehir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2799-9251), cigdem.eriş@eng.bau.edu.tr

² Bahçeşehir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8274-8423), pınar.sarisaray@eng.bau.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 18 Mayıs 2020 ve Kabul Tarihi 26 Aralık 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.739400)

ATIF/REFERENCE: Eriş, Ç. & Bölük, P. (2021). A Survey of Applicability of Information Centric Networking on Wireless Sensor Devices used in Internet of Things. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 160-171.

Öz

Bilgi merkezli ağlar, (ICN – Information Centric Networks), istemci-sunucu arasında uçtan uca iletişimin kurulmadığı, kullanıcıların içerik talebini farklı sunuculardan karşılayabildiği bir ağ mimarisidir. Bu mimari, talep edilen verinin kaynak haricinde ağdaki ara düğümlerin önbelleğine kaydedilmesi ile, veriye hızlı ve kolay erişim sağlamaktadır. Ayrıca bu şekilde ağda yayılan veri, içeriğini sertifikalandırması sayesinde güvenli olarak temin edilebilmektedir. Bu nedenle ICN mimarisi, sadece geleneksel İnternet uygulamaları için değil, bunun ötesinde Nesnelerin İnternet'i (IoT) uygulamalarında da cazip hale gelmektedir. Nesnelerin İnternet'i kullanıcı ve çevresinin web uygulamaları ve servisleri ile bütünleşmesini amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda kablosuz algılayıcılar, internete bağlı cihazlara duysal bir uzantı sağlayarak “nesne” olarak tanımlanabilmekte, çok sayıda uygulama ve servis bu nesnelerin çevreleri ile ilgili ürettiği içeriklerden faydalanabilmektedir. Dolayısıyla IoT uygulamalarının çoğunluğunda içerik, üretildiği konum veya cihaza kıyasla daha ön plana çıkmaktadır. Bu kapsamda IoT kavramının en önemli bileşeni olan, farklı donanım ve haberleşme teknolojilerine sahip düşük maliyetli kablosuz algılayıcı ağların, mevcut internet altyapısına dahil edilmeleri ve birbirleriyle ürettikleri içerikleri paylaşması gerekmektedir. Ancak kablosuz algılayıcı cihazların işlemci gücü, bellek kapasitesi ve enerji kaynakları sınırlıdır. Bu cihazların, mevcut haberleşme standartlarını kullanarak internete entegre olmaları maliyetli olabilmektedir. Kaynakları kısıtlı olan kablosuz algılayıcı cihazların, küresel bir iletişim ağının parçası haline gelmesi uygulama ve ağ katmanında çözülmesi gereken pek çok yeni problemi ortaya çıkarmaktadır. Bu doğrultuda kablosuz algılayıcı cihazlar yer aldıkları uygulamanın gereksinimleri ve kullanım alanlarına bağlı olarak, bağlantı merkezli (uçtan uca) veya bilgi merkezli ağ mimarilerinden faydalanabileceklerdir. Bu çalışmada, bilgi merkezli ağ mimarisinin kablosuz algılayıcı cihazlar için uygulanabilirliği, sunacağı avantajlar ve mevcut eksikleri literatürde yapılan çalışmalar göz önüne alınarak irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bilgi Merkezli Ağlar, Nesnelerin İnterneti, Kablosuz Algılayıcı Ağlar.

A Survey of Applicability of Information Centric Networking on Wireless Sensor Devices used in Internet of Things

Abstract

Information-centric Networks (ICN) is a new communication paradigm in which end-to-end connection establishment is not necessary between client-server and users can retrieve contents from different sources. In this paradigm, data is disseminated from the caches of intermediate nodes along the communication path other than the source, thus, enabling fast and efficient content delivery. Furthermore, by certificating the content itself rather than the transmission medium, ICN ensures content security. These features of ICN is attracting not only for traditional Internet applications, but also for Internet of Things (IoT) environments. The Internet of Things aims to integrate the user and its surroundings with web applications and services by exploiting wireless sensors attached to “things” which is connected to Internet and provides a sensory extension to the physical world. Thus, many applications and services can gather information about the surroundings of “things”. Hence, in the majority of IoT applications, information is more essential than the location of which it is retrieved from. In this context, low-cost wireless sensor networks with different hardware and

*Sorumlu Yazar: cigdem.eriş@eng.bau.edu.tr

communication technologies, are the most important components of IoT concept, and need to be incorporated with existing internet infrastructure to share their contents with each other. However, wireless sensor network devices have limited resources in terms of processing, memory capabilities and energy resources. Therefore, integrating these constrained devices into global communication network arises many new problems that need to be solved in the network layer and complex adaptations in the application layer. However, they can utilize from both connection and information-oriented architectures depending on the application areas and requirements. In this study, applicability of information-centric architectures is examined for wireless sensor devices that used in the IoT applications. Advantages and disadvantages are studied by considering the existing surveys and studies in literature.

Keywords: Information Centric Networks, Internet of Things, Wireless Sensor Networks.

1. Giriş

Nesnelerin interneti (IoT), her bir cihazı İnternet'e bağlamayı amaçlamaktadır, böylece bu cihazlara herhangi bir zamanda, herhangi bir yerde ve herhangi bir yoldan (yani herhangi bir ağdan) erişilebilmektedir (Nour, Sharif, Li, BiswasMoungla, Guizani&Wang 2019). Bu kavram, İnternet'in kablosuz algılayıcı cihazlar aracılığıyla fiziksel dünyaya bağlandığı yeni bir iletişim sistemi olarak tanımlanmıştır. Bunun sonucunda, gündelik cihazlar, buldukları ortam hakkında bilgi toplayan ve ürettiği bilgiyi, küresel bir uygulama ekosistemine sağlayan bir ağ bileşeni haline gelmiştir. Kablosuz teknolojiye sahip her nesne çok sayıda uygulama ve kullanıcıya veri sağlama potansiyelini taşımaktadır. Ancak bu potansiyelin gerçekleştirilebilmesi için farklı haberleşme standartlarına ve donanım kısıtlarına sahip kablosuz cihazların birbirleri ve mevcut internet protokolleri ile uyumlu çalışmaları gerekmektedir (Castellani, Bui, Casari, Rossi, Shelby, &Zorzi, 2010).

Günümüzde akıllı ev, sağlık, tarım ve endüstri uygulamalarında kullanılan kablosuz algılayıcı ağlar, çoğunlukla belirli sayıda kullanıcıya bilgi sağlamak amacı ile yerel alan ağlarında çalışmaktadır (Waltari&Kangasharju, 2016). Geleneksel kablolu ağlar için tasarlanmış TCP/IP yığını üzerinde çalışan uygulama protokollerinin, donanım kaynakları kısıtlı cihazlarda doğrudan kullanılamaması sebebi ile bu ağlar, kullanıcı ve algılayıcı cihazlar arasındaki bir ağ ara geçidi aracılığı ile internete bağlanmaktadır (Dunkels, Alonso, &Voigt, 2003), (Stann&Heidemann, 2003). Bu durum, her yeni uygulamanın, kablosuz algılayıcı ağ üzerinde tanımlı mevcut protokollerde değişiklik yapılmasını gerektirdiğinden, zaman alıcı ve zahmetli olmaktadır (Sheng, Yang, Yu, Vasilakos, Mccann&Leung, 2013). Bu nedenle kablosuz algılayıcı ağlar internet altyapısına doğrudan entegre edilememektedir (IEEE St. 1451.5-2007). Kablosuz algılayıcı ağlarda, TCP/IP yığın modelinde kullanılan geleneksel uygulama protokollerinin yerine cihazların kısıtlarını dikkate alarak geliştirilen CoAP (Bormann, Castellani&Shelby, 2012), MQTT (Hunkeler, Truong& Stanford-Clark, 2008), STMP (Aschenbruck&Fuchs, 2011), vb. uygulama protokolleri önerilmiştir. Bu uygulama protokolleri HTTP protokolünün basitleştirilmiş versiyonları olarak IP protokolü üzerinde çalışmaktadır ve her bir cihazın IP adresine sahip olmasını gerektirmektedir. 2023 yılında internete bağlı cihaz sayısının 29 Milyarın üzerinde olacağı ve internet trafiğini IoT cihazlarının yöneteceği göz önünde bulundurulduğunda (Cisco, 2020) çok sayıda cihazın adreslenebilmesi ve oluşan trafiğin mevcut altyapı tarafından desteklenebilmesi gibi ihtiyaçlar ortaya çıkmaktadır.

Bu kapsamda önerilen 6LoWPAN adaptasyon katmanı ile IPv6/6LoWPAN protokol yığını, kablosuz algılayıcı cihazların IPv6 adresi kullanarak dış IP ağlarına bağlanmasını sağlamıştır

(Shelby&Bormann, 2009). Ancak IPv6 yönteminin uçtan uca iletişimi desteklemesi nedeniyle maalesef IoT cihazlarının sebep olduğu trafik dar boğazına karşı farklı çözüm önerileri gerekmektedir. Bu kapsamda uçtan uca yapılan iletişime alternatif olarak son yıllarda en dikkat çeken çözüm önerisi, bilgi merkezli ağ mimarisidir (ICN- Information Centric Networks) (Jacobson, Smetters, Thornton, Plass, Briggs&Braynard, 2009). Bu mimari, hedef ve kaynak düğümler arasında adres temelli haberleşme yapmak yerine, içerik/veriye odaklanan bir ağ modeli önermektedir. ICN'de yer alan isimlendirme (naming), yönlendirme (routing), önbelleğe alma (caching) ve içerik güvenliğinin sağlanması (securing content) gibi yöntemler IoT uygulamaları için avantaj sağlamaktadır. Veri, bulunduğu adresten bağımsız olarak, verinin isimlendirilmesi ile temin edilmektedir. Buna ek olarak, verinin kaynağından bağımsız olarak aynı ağdaki kablosuz cihazların veriyi önbelleğe almaları yöntemi ile hızlı ve verimli içerik temini sağlanmaktadır (Castellani et al., 2010). Böylece bilgi merkezli yaklaşım, geleneksel internet mimarisinin gerektirdiği uçtan uca bağlantının kurulması ve sürdürülmesi zorunluluğunu ortadan kaldırarak, kablosuz algılayıcı ağların internete dahil edilmesi sürecinde güçlü bir aday olmuştur.

Donanım özellikleri ve ürettikleri veri bakımından birbirinden farklı çok sayıda cihazın birbiri ve internet protokolleri ile uyumlu çalışabilmesi, literatürde üzerinde sık çalışılan bir konu olmuştur. Bu makalede, bilgi merkezli yaklaşımın, IoT uygulamalarında kullanılan kablosuz algılayıcı cihazlarda uygulanabilirliği mevcut çalışmalar doğrultusunda araştırılmıştır. Bilgi merkezli ağ mimarisinin, haberleşme protokollerine getirmiş olduğu avantaj ve dezavantajları ile kısıtlı cihazlar tarafından kullanılabilirliği incelenmiştir. Makalenin kalan kısmı şu şekilde düzenlenmiştir. 2. Bölümde nesnelerin interneti kavramının tanımına, içerdiği teknolojilere ve uygulama alanlarına yer verilmiştir. 3. Bölümde nesnelerin interneti uygulamalarının uçtan uca çalışabilirliği için literatürdeki çalışmalar incelenmiştir. 4. Bölümde bilgi merkezli ağ mimarisinin tanımı ve kullanım senaryoları verilmiştir. 5. Bölümde bilgi merkezli ağ mimarisinin getirdiği avantajlar üzerinde durulmuştur. 6. Bölümde bilgi merkezli ağ mimarisinin nesnelerin interneti cihazları üzerinde çalışabilirliği incelenmiş olup 7. Bölümde sonuç verilmiş ve bilgi merkezli ağ mimarisinin bu kapsamda ileriye dönük potansiyel araştırma alanları belirtilmiştir.

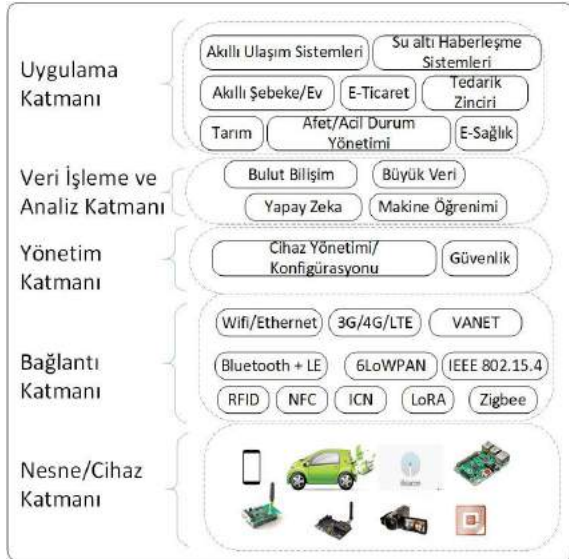
2. Nesnelerin İnterneti

IoT, ekosistemde yer alan tüm nesnelerin İnternet'e bağlanmasına olanak veren bir sistemdir. Bu küçük nesneler kendi aralarında haberleşebilme yetilerinin yanında İnternet'e direk veri yollayabilme veya İnternet' den gelen veri ile komut alarak harekete geçme özelliklerine sahiptirler. Dolayısıyla IoT, farklı özellikleri olan nesnelerin veri toplama, kaynak paylaşımı,

analiz ve yönetim gibi amaçlar için Internet' den ulaşılabilir olmasına olanak verir (Gubbi, Buyya, Marusic, &Palaniswami, 2013), (Atzori, Iera, &Morabito, 2010). Bunun sonucunda, ulaşım, sağlık, çevre, tarım, vb. çeşitli iş alanlarında kullanılan akıllı cihazlar, algılayıcı ve aktüatör özelliğine sahip olmalarının yanı sıra, birer akıllı internet bileşeni haline gelmişlerdir (Aydemir, 2019). IoT, bu cihazlardan toplanan verilerin, yapay zekâ, veri madenciliği gibi uygulama alanlarında kullanılan yöntemler ile bilgiye dönüşümünü ve bu bilginin çok sayıda uygulama veya kullanıcıya servis edilmesini amaçlamaktadır. Bununla beraber, farklı donanım/haberleşme kaynaklarına sahip kablosuz algılayıcıların büyük ölçekli uygulamalarda kullanılabilmesi için standartlaşma çalışmaları yapılmıştır (Sheng et al., 2013), (Atzori et al., 2010), (Tagami&Arumathurai, 2016), (Chen, 2017), (Lin, Yu, Zhang, Yang, Zhang&Zhao, 2017).

Günümüzde algılayıcı cihazlardan elde edilen çeşitli ölçüm bilgilerini mevcut internet protokolleri ile kullanıcıya taşıyan uygulamaların büyük bir kısmı, yerel alan ağlarında (LAN – Local Area Networks) çalışmaktadır (Waltari et al., 2016). Nesnelerin interneti, uygulama alanlarına bağlı olarak algılayıcı düğümlerden elde edilen ölçüm bilgilerinin internet üzerinde çok sayıda kullanıcıya ve servise bilgi sağlamasını amaçlar. Bu doğrultuda, IoT uygulamaları ve hali hazırda kullanılmakta olan teknolojiler Şekil 1'de 5 ayrı katmanda incelenmiştir: Nesne/Cihaz Katmanı, Bağlantı Katmanı, Yönetim Katmanı, Veri İşleme ve Analiz Katmanı, Uygulama Katmanı. Bu mimari ile algılayıcı düğümlerin internet üzerinden gerçek zamanlı veya periyodik olarak sağladıkları veri, birçok uygulama ve kullanıcı tarafından kullanılabilir.

Şekil 1. Nesnelerin İnterneti: İletişim Teknolojileri ve Uygulamalar



Şekil 1'de her bir katman bilginin üretim ve kullanım alanını temsil etmektedir. Nesne katmanında her cihaz bulunduğu ortam ile ilgili bilgi toplamaktadır. Bu katmandaki nesnelerin tanımlanması ve takibi RFID teknolojisi ile sağlanırken, yakınlık, duman, sıcaklık, ışık vb. ölçülmesi gereken bilgiler diğer algılayıcı cihazlar ile tanımlanabilmektedir. Bağlantı katmanı farklı teknolojilere sahip cihazların isimlendirildiği ve üretilen ölçüm verilerinin (sıcaklık, ışık vb.) iletildiği katmandır. Bu katmanda her cihaz sahip olduğu haberleşme teknolojisi (Zigbee (IEEE 802.15.4), 6LoWPAN, NFC, Bluetooth vb.) ile

ürettiği bilgiyi yönetim ve veri işleme üst katmanlarına taşımaktadır. Güvenlik, ortam erişim denetimi, cihazların kurulum ve konfigürasyonu yönetim katmanında yapılmaktadır. Bu katman kablosuz cihazların periyodik çalışma sürelerinin, keşif ve yapılandırma protokollerinin yerel ağ alanında ayarlandığı katmandır. Üretilen bilgi uygulama katmanında son kullanıcılar tarafından kullanılabilen, aynı zamanda veri işleme ve analiz katmanında farklı uygulama alanlarına bilgi sağlamaktadır. Uygulama katmanında, cihazlardan elde edilen ve anlamlandırılmış bilgiler şüpheli olay tespiti, verimli enerji tüketimi, iş güvenliği vb. birçok uygulamada kullanılabilir (Ersin & Öz, 2020). Örneğin; akıllı ev ve akıllı şebeke uygulamalarında kullanılan algılayıcı düğümler tarafından ölçülen elektrik tüketim bilgisi, elektrik şirketleri tarafından arz talep optimizasyonu yapılmasında kullanılabilir gibi, tüketici tarafından tasarruf ve tüketim planı yapılmasında da kullanılabilir.

Vücut alan algılayıcı düğümler ile nesnelerin interneti kapsamında ortaya çıkan bir diğer uygulama alanı akıllı sağlık sistemleridir. Vücut alan algılayıcı düğümlerden elde edilen fiziksel ölçüm bilgileri Bluetooth vb. bir iletişim teknolojisi yardımı ile akıllı telefon aracılığı ile gerçek zamanlı takip edilebilir veya bulut teknolojisi ile bu ölçümler doktorlar tarafından kontrol edilebilir. Buna ek olarak yaşlı gözetim sistemleri örnek verilebilir. Hastanın uzaktan gerçek zamanlı gözetimi sağlanabilir ve algılayıcı düğümler yardımı ile kan değeri, kalp atışı gibi fiziksel ölçümleri takip edilebilir (Atzori et al., 2010). Yakın gelecekte kullanılacak bir uygulama olarak, akıllı ev, bina veya şehir vb. uygulamalarında herhangi bir algılayıcı düğümün, ürettiği değerleri sosyal paylaşım sitelerine periyodik olarak iletebilecek ve bu bilgiler birçok kullanıcı ve uç sistem tarafından takip edilebilecektir. Akıllı ev, bina gibi uygulamalarla birlikte, akıllı tarım/orman sistemleri, ulaşım sistemleri de nesnelerin interneti dahilinde ortaya çıkan yeni uygulama alanlarını tanımlamaktadır (Taştan, 2019).

2.1. İletişim Özellikleri

IoT'nin çeşitli uygulamalarında kullanılan algılayıcı cihazlar IEEE 802.11, IEEE 802.15.4, IEEE ZigBee, IEEE Bluetooth, RFID gibi farklı haberleşme teknolojilerine sahiptir (Al-Sarawi, Anbar, Alieyan&Alzubaidi, 2017). IoT haberleşme modelinde kablosuz algılayıcı cihazlar, İnternete bağlı bir ağ ara geçidine (gateway) bağlıdır. Ağ ara geçidi, düğümlerden belirli aralıklarla veri sorgulamakta veya düğümlere veri iletebilmektedir. Kablosuz cihazlarda üretilen veriler düşük veri iletimi kapasitesine (kb/s) sahip IEEE 802.15.4 veya benzer kablosuz bir teknoloji standardı ile iletilmektedir. IoT ortamının veri iletimi kapasitesini, algılayıcı cihazların kaynak kısıtları (enerji, hesaplama gücü ve bellek) ve iletim ortamının güvensiz yapısı sınırlamaktadır. Kablosuz iletim ortamının kayıplı doğası ve ortamda yer alan cihazların kaynak kısıtları nedeniyle, haberleşme protokolleri mevcut internet protokollerinden farklı tasarlanmıştır (Akyildiz, Su, Sankarasubramaniam &Cayirci, 2002). Bu nedenle, cihazların kısıtlı veri hızını ve güç kapasitesini göze alan aynı zamanda enerji tüketimini de minimize eden güvenilir iletişim protokolleri kullanılmaktadır.

IoT uygulamalarında yaygın olarak kullanılan kablosuz algılayıcı cihazlar, ad-hoc olarak çalışmakta ve veriyi tek sekmeli/çok sekmeli olarak uç düğüme bir ağ ara geçidi vasıtasıyla iletebilmektedirler. Kablosuz algılayıcı ağlarında

kullanılan düğümlerin kısıtlı yaşam ömrü, saf dışı kalan düğümler nedeniyle ağ topolojisinin sıkça değişmesine sebep olmaktadır. Bu nedenle yönlendirme ve ortam erişim kontrolü iletişim katmanlarının tasarımı, topolojinin ölçeklenebilir ve ağ ömrünün uzun olması açısından kritik önem taşımaktadır.

2.2. Cihaz Özellikleri

IoT cihazları, donanım kaynakları bakımından yüksek ve düşük kapasiteli olarak sınıflandırılabilir. Bununla birlikte IoT cihazları denildiğinde genellikle düşük kapasiteli cihazlar akla gelmektedir. Bu cihazlar, işlemci gücü, depolama kapasitesi ve enerji kaynakları bakımından kısıtlı cihazlardır (Baccelli, Mehlis, Hahm, Schmidt&Wählich, 2014). Bu nedenle düğümlerde çalışan protokollerin bu kısıtları göz önüne alarak inşa edilmeleri gerekmektedir. Örneğin düğümler haberleşme yaparlarken belirli zaman aralıklarında aktif ve uyku durumları arasında geçiş yaparak enerji tasarrufu yapmaktadırlar. Aktif durumda, radyo bileşeni ve işlemci bileşeni çalışmaktadır. Uyku durumunda ise bu bileşenlerin güç tüketimi minimize edilmektedir. Düğümler, periyodik veya tetiklenme koşullarında bu iki durum arasında geçiş yapabilir (Akyildiz et al., 2002). Buna ek olarak düşük maliyetli aktif ve pasif RFID etiketleri akıllı ulaşım ve kimlik denetimi uygulamalarında elektronik barkod görevi görmesi nedeni ile cihazların/nesnelerin tanımlanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Pasif RFID etiketleri, herhangi bir güç kaynağına sahip değildir ve kart okuyucu olmadan veri iletimi yapamamaktadır. Genellikle bu teknoloji, ticaret ve tedarik zinciri yönetimi uygulamalarında kullanılmaktadır. Bunun yanında güç kaynağına sahip aktif RFID etiketleri kargo takip vb. uygulamalarında elektronik barkod olarak kullanılmaktadır (Cho, Shim, Kwon, Choi, & Kim, 2007).

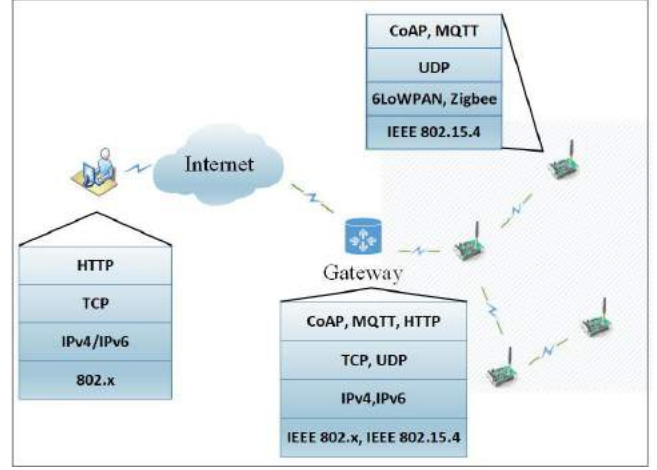
3. Nesnelerin İnternetinde Kısıtlar ve Çözüm Önerileri

IoT kapsamında, söz konusu iletişim altyapısına dahil olan cihazların, servislerin ve iletilen verinin farklı yapıya sahip olması, ağ mimarisinde, ölçeklenebilirlik, enerji tüketimi, anlamsal uyumluluk, güvenlik gibi çözülmesi gereken problemleri ortaya çıkarmıştır (Atzori et al., 2010), (Derhamy, Eliasson&Delsing, 2017), (Tourani, Misra, Mick, &Panwar, 2018). Bu problemler, literatürde uygulama ve ağ katmanında uyumluluk yaklaşımları ile çözülmeye çalışılmıştır. Aşağıda önerilen çözüm yöntemleri incelenmiştir.

3.1. Uygulama Katmanında Uyumluluk Problemi

Uygulama katmanı ağ ara geçitleri, farklı bir uygulama protokolü ile cihazdan uygulama verisini elde ederek, kullanıcıya bilgi sağlamaktadır. Böylece cihaz ve son kullanıcı arasında yer alan ağ ara geçidi, bir vekil (Proxy) görevi görmektedir. Bu yöntemde, ağ ara geçitleri farklı her uygulama için protokoller arası anlamsal ve birebir çeviri yapmaktadır. Böylece farklı uygulama protokollerini kullanan cihazlardan, kullanıcıya veri aktarımı mümkün hale gelmektedir. Fakat protokoller arası anlamsal ve birebir çeviri yapılması karmaşık bir işlemdir ve diğer ağ ara geçidi çözümleri gibi merkezi kontrol gerektirmesi sebebiyle SPoF (Single Point of Failure) zafiyetleri vardır. Ayrıca protokoller arası birebir çeviri yapılması servis kalitesinin (QoS) düşmesine ve bant genişliğinin fazladan kullanımına sebep olmaktadır.

Şekil 2. Ağ katmanı uyumluluk protokolleri



Bir diğer çözüm önerisi, aracı yazılımların (Middleware) kullanılmasıdır. Bu yöntemde IoT cihazlarından alınan verinin çeşitli uygulama protokollerinde kullanılabilmesi için servis modelleri geliştirilmektedir (Bromberg, &Issarny, 2005), (Bromberg, Grace, &Réveillére, 2011). Uygulama katmanı uyumluluk problemi üzerine SOA (Service Oriented Architecture) tabanlı çoklu bir protokol çeviricisi önerilmiştir (Derhamy et al., 2017). Çalışmada HTTP ve CoAP protokolleri arasında çeviri yapılmış, performansı ve gecikme süresi vekil protokol yöntemi ile kıyaslanmıştır. Deneysel sonuçları aracı yazılımların vekil protokol yöntemine kıyasla daha etkin bir çözüm olduğunu göstermiştir.

3.2. Ağ Katmanında Uyumluluk Problemi

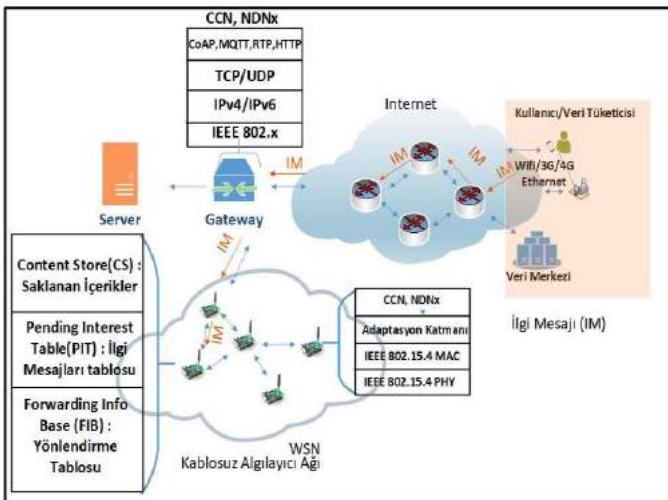
IoT cihazlarının kullandığı protokol yığını ve internet protokolleri arasındaki uyumluluk probleminin en güçlü çözüm önerisi açık standartlara dayalı IPv6 adresleme yöntemidir (Shelby et al., 2009). Internet Engineering Task Force (IETF) çalışma grubu IPv6 adresleme yönteminin kablosuz algılayıcı cihazlarda kullanılması üzerine standartlaşma çalışmalarını tamamlamıştır (Montenegro, Kushalnagar, Hui&Culler, 2007). Böylece IPv6 paketlerinin 6LoWPAN, (Düşük güç – Kişisel Alan Ağları) ve 802.15.4 iletişim standardını kullanan düşük güç – kablosuz algılayıcı cihazlar (LLN – Low Power Lossy Networks) tarafından kullanılması sağlanmıştır (Moritz, &Golatoski, 2017). Böylece 6LoWPAN düğümlerinin internet ağ katmanı protokolleri ile uyumlu çalışması problemi çözülmüştür. Ancak, önerilen çözümler, uçtan uca bağlantının kurulmasını gerektiren bağlantı merkezli yaklaşıma sahip çözümlerdir. Ayrıca IoT cihazlarının enerji kısıtları göz önünde bulundurulduğunda, sık veri iletişimi, veriyi sağlayan düğümlerin hareketli olması ve IP adresi çözümleme gereksinimi IoT uygulamalarının ölçeklenebilir olmasını zorlaştırmaktadır. Literatürde ağ katmanı uyumluluk çözümü için önerilen ağ mimarisinde kullanılan protokoller, örnek bir senaryo üzerinde Şekil 2’de gösterilmiştir. Bu mimaride, ağ ara geçidi protokoller arası çevirim yapmaktadır. HTTP protokolü kullanan uç cihaz, CoAP protokolü kullanan algılayıcı cihaz ile ağ ara geçidi ile haberleşmektedir.

4. Bilgi Merkezli Ağlar

Son yıllarda algılayıcı cihaz, akıllı telefonlar, sürücüsüz arabalar, veri merkezleri gibi milyonlarca cihaz internete bağlanabilmekte ve bu sayının geçen yıllarla birlikte üstel olarak artacağı öngörülmektedir. Bu cihazların mevcut Internet

altyapısına dahil olması ile web ve video trafiğinde oldukça büyük bir artış görülmektedir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan TCP/IP protokol yığını Internet modeli, istemci ve sunucu arasında adres tabanlı uçtan uca iletişimi desteklemektedir. Bununla birlikte mevcut gelişmeler uçtan uca bağlantıdan ziyade paylaşılan bilgiyi önemli hale getirmiştir (Waltari et al., 2016), (Babayiğit & Doğan, 2019). Bilgi merkezli ağlar (Information Centric Networks- ICN), günümüzde kullanılan sunucu merkezli TCP/IP protokol yığınına alternatif olarak geleceğin internet modeli olarak önerilmiştir (Jacobson et al., 2009). Geleneksel TCP/IP modelinin temel aldığı ağ adresleme yerini ICN’de içerik/verinin adreslemesi olarak değiştirmektedir. Literatürde DONA (Koponen, Chawla, Chun, Ermolinskiy, Kim, Shenker&Stoica, 2007), NetInf (Dannewitz, Kutscher, Ohlman, Farrell, Ahlgren& Karl, 2013), NDN (Jacobson, et al., 2009), CCN (Severance, 2013) COMET (Garcia et al., 2011), PURSUIT (Fotiou et al., 2012), CONET (Detti, Melazzi, Salsano, &Pomposini, 2011), Green ICN (Tagami et al., 2016), MobilityFirst (Li, Zhang, Raychaudhuri, &Ravindran, 2014) çalışmaları ICN ağ mimarisinin çeşitli kullanım senaryoları kapsamında tanımlanan farklı mimari önerileri olarak yerlerini almaktadır. Bu mimarilerin ortak önerisi, verinin adreslenebilmesi ile içeriğin üretildiği kaynak düğüme alternatif aynı veriye sahip farklı bir sunucudan temin edilebilmesidir. Veriyi, üreten “yayıncı” (publisher), ve talep eden, “abone” (subscriber) arasında uçtan uca bağlantı kurulması zorunluluğu ortadan kalkmıştır. Böylece belirli bir veriye ulaşmak için verinin benzersiz ismini bilmek yeterli olmaktadır ve buna ek olarak verinin isimlendirilmesi, farklı cihazlar tarafından önbellekte tutulmasını kolaylaştırmakta, verinin erişilebilirliğini arttırmaktadır. Veri sadece kaynak düğümden değil, aynı veriye sahip farklı yayıncılardan da ilgili abonelere de dağıtılabilir ve bu sayede uçtan uca iletişimin neden olduğu internet trafiği azaltılmaktadır.

Şekil 3. Bilgi merkezli ağ mimarisi NDN kullanım senaryosu



Bilgi merkezli ağları geleneksel ağlardan ayıran bir diğer özellik iletişimin verinin alıcısı tarafından başlatılmasıdır. Alıcı veya “tüketici” tarafından sorgulanan veri, veriyi içeren en yakın düğümden temin edilmekte ve verinin bulunması için gerekli sorgu ağ içerisinde yapılmaktadır. Verinin bulunduğu kaynaktan alıcıya ters yol izleyerek iletilmesi için kullanılan yönlendirme bilgisi sorguya eklenmekte veya yapılan sorguyu duyan herhangi bir düğüm tarafından veri kullanıcıya iletilmektedir. Bu iletim son kullanıcı tarafından başlatılır. Şekil 3’ de bilgi merkezli ağ

önerisinin bir uygulaması olan CCN ve NDN mimarisi için örnek bir kullanım senaryosu verilmiştir. Bu mimaride Veri (Data) ve İlgi (Interest) paket yapıları kullanılmaktadır. Son kullanıcıya gönderilen veri (Data) paketi, iletişim yolu boyunca diğer cihazların içerik ön belleğinde (CS-Content Store) kaydedilir. Yol boyunca alınan veri paketlerinin iletim bilgisi, ayrıca ara düğümlerin yönlendirme tablosuna (FIB-Forwarding Information Base) kaydedilmektedir. Kullanıcıların istenilen veri için yaptıkları sorguya veri paketini ön belleğinde (CS) bulunduran en yakın düğüm cevap verir. Bu düğüm içerik ön belleği (CS-Content Store) tablosunda bulunan güncel veriyi kaynağa erişmeksizin iletebilmektedir. Sorgulanan veri düğümün CS’ inde mevcut değilse sorgu, İlgi Mesajları Tablosuna (PIT-Pending Interest Table) kaydedilir. Böylece aynı veri için farklı alıcılar tarafından gönderilen istek sorguları, önceden belirlenen zaman aşımı parametresine (Data Freshness) bağlı olarak diğer düğümler tarafından üretici kaynak düğüme yönlendirilmektedir. Zaman aşımı parametresi verinin güncelliğini sağlamak için kullanılan bir parametredir. Veri aşımına uğramadığı takdirde, ağ üzerinde veriyi önbelleğinde bulunduran herhangi bir sunucu bu istek mesajına yanıt verebilirken, güncel veriye sahip olmayan her düğüm eski veriyi CS’ den silerek, sorguyu kaynağa doğru iletebilmektedir (Amadeo, Campolo, Iera&Molinaro, 2015).

Günümüzde İçerik Dağıtım Ağlarında da kullanılan bilgi merkezli ağ paradigması web/video trafiği taşınan ağlar için önerilmiştir. Ancak, IoT cihazları, düşük işlemci gücüne sahip, enerjisi batarya ömrü ile kaynakları kısıtlı kablosuz algılayıcı ağ bileşenleridir. Bu nedenle, bu paradigmanın uygulandığı uç düğümler nesnelere interneti cihazlarından işlemci gücü, hafıza ve enerji bakımından üstün olmaktadır. Bunun sonucunda bilgi merkezli ağ mimarisi, IoT cihazlarının kısıtları göz önünde bulundurularak yeniden tasarlanmaktadır (Baccelli et al., 2014).

5. Bilgi Merkezli Ağ Mimarisinin Avantajları

Bilgi merkezli ağ önerisinin, uçtan uca iletişimin yerini alarak geleceğin internetini tanımlaması beklenmektedir (Arshad, Azam, Rehmani & Loo, 2018b). Günümüzde web/video trafiğindeki gecikmeleri azaltmak için tasarlanan içerik dağıtım sistemleri, bilgi merkezli ağ önerisinde tanımlanan yöntemleri uygulama katmanında kullanılmaktadır. İçerik isimlerinin benzersiz olarak belirlenmesi ve içeriğin bulunduğu konuma ek olarak, daha önce iletildiği yol boyunca ara düğümler tarafından önbellekte tutulması ağ trafiğini azaltmayı amaçlamaktadır. Buna ek olarak bilgi merkezli ağ önerisinde kullanılan mobilite yönetimi, IoT cihazlarında ağ katmanında da kullanılabilir. Hareketli düğümlerin bağlantı durumunda ve topolojide sık değişikliklere neden olması IP iletişimde karmaşık çözümler gerektirmektedir. ICN mimarisinde mobilite sebebi ile cevaplanmamış içerik İlgi Mesajları (IM) içeriği CS tablosunda bulunduran herhangi bir düğümden elde edilebilir. Böylece mobilite durumunda içerik temini IP iletişiminden daha hızlı ve güvenilir olmaktadır (Shang, Yu, Droms&Zhang, 2016). Bilgi merkezli ağ mimarisinin uça uca ağ mimarisinden farklı olarak önerdiği yöntemler aşağıda incelenmiştir.

5.1. Üretilen İçeriğin ve Servislerin İsimlendirilmesi

IoT uygulamalarının çoğunluğunda kullanıcılar, verinin hangi düğümden elde edildiğine kıyasla verinin kendisi ile

ilgilenmektedirler (Waltari et al., 2016). Örneğin, trafik durumunu öğrenmek için yapılan bir sorgunun cevaplanması, hangi düğümün bu sorguya cevap verdiğinden daha önemlidir. Verinin ve kullanılan servislerin isimlendirilmesi, cihazların isimlendirilmesine kıyasla daha ön planda olmaktadır (Jacobson et al., 2009). Bilgi merkezli mimari, üretilen verinin benzersiz ve kalıcı olarak isimlendirilmesini amaçlamaktadır. Bu kapsamda, literatürde Hiyerarşik (Hierarchical), Düz (Flat Self-Certifying-Based), Özellik-Değer (Attribute-Based) ve Hibrit İsimlendirme (Hybrid Naming) olarak 4 farklı yöntem önerilmiştir (Arshad et al., 2018b). Bu yöntemler ICN mimarisinin kullanıldığı uygulamaların ihtiyaçları doğrultusunda geliştirilmiştir.

IoT uygulamaları için geliştirilmekte olan CCN ve NDN mimarileri, hiyerarşik isimlendirme (Hierarchical Naming) yöntemini kullanmaktadır (Arshad et al., 2018a). Bu yöntem tekdüzen kaynak tanımlayıcısı (URI – Uniform Resource Identifier) ile uygulama ve servisleri tanımlayan içerikleri isimlendirmektedir. Buna ek olarak, NetInf, DONA, MobilityFirst ICN mimarilerinde kriptografik hash algoritmaları ile sabit uzunlukta (Flat Naming) benzersiz içerik isimleri üretilmektedir (Baugher, Davie, Narayanan& Oran, 2012). Green ICN mimarisinde içerik ve cihazlar, sahip olduğu özellikler temelinde (İçeriğin oluşturulma tarihi, türü, versiyonu vb.) isimlendirilmektedir (Attribute -Value based Naming) (Ascigil, Reñe, Xylomenos, Psaras, &Pavlou, 2017).

5.2. İçeriğin Ön Belleğe Kaydedilmesi

IoT cihazlarının donanımsal kısıtları göz önünde bulundurulduğunda, verinin iletiği yol boyunca ön belleğe alınması, aynı iletişim kanalını kullanan, enerji kaynakları sınırlı cihazlar için fayda sağlamaktadır (Zhang, Li& Lin, 2013). Verinin ağ içerisinde ön belleğe alınması yöntemi ile aynı verinin farklı istemciler tarafından sık sorgulanması durumunda, ağ trafiğinin artması engellenerek bant genişliği ve enerji kullanımının azaltılması amaçlanmaktadır. Buna ek olarak, verinin ara düğümlerde ön belleğe alınarak ağ içerisinde yayılması veriye erişim süresini azaltmaktadır. ICN mimarilerinin tümünde verinin ön bellekte kaydedilmesi yöntemi kullanılmaktadır. Bu mimarilerin tasarım amaçları ve detayları doğrultusunda farklı mekanizmalar literatürde önerilmiştir. Bu mekanizmalar homojen (homogeneous), heterojen (heterogeneous), işbirlikli (cooperative), işbirliksiz (non-cooperative), yol üzerinde (on-path) ve yol dışında (off-path) ön belleğe alma yöntemleri olarak sınıflandırılmıştır (Zhang, Luo& Zhang2015).

Homojen ön belleğe alma mekanizmasında ağ içerisinde tüm yönlendiriciler aynı miktarda depolama kapasitesine sahiptirler ve içerikleri aynı kriterlere bağlı olarak kaydediler. Heterojen ön bellek mekanizmasında ağdaki her cihaz farklı depolama kapasitesine sahiptir ve buna bağlı olarak içerikleri kaydetmek için her düğüm kendi donanım özellikleri doğrultusunda yöntemler kullanabilir. İşbirlikli ön belleğe alma yönteminde, yönlendiricilerin içerik tablolarındaki kayıtlar yayınlanır ve içerik kaydetme kriteri buna bağlı olarak belirlenir. (Örneğin, bir sekme uzaklıktaki düğümün ön belleğinde yer alan veri, bu veriyi yönlendiren düğümün ön belleğine alınmayacaktır). İşbirliksiz ön belleğe alma yönteminde ise yönlendiriciler, içerik kayıtlarını yayınlamazlar ve yönlendirdikleri içerikleri birbirinden bağımsız olarak kaydediler. Yol üzerinde ön belleğe alma mekanizması, içeriklerin yönlendirildikleri tüm ara düğümler tarafından

kaydedilmesidir. NDN, CONVERGENCE mimarileri bu yöntemi kullanmaktadır.

Yol dışında ön belleğe alma yönteminde ise içerikler yönlendirildikleri tüm ara düğümler tarafından kaydedilmezler. Bunun yerine içeriklerin kaydedileceği ara düğümler merkezi bir düğüm tarafından belirlenir (Koponen et al., 2007). Bu mekanizma yönlendirme sistemi tarafından sağlanmaktadır ve DONA, MobilityFirst gibi merkezi isim çözümleme sistemine dayalı mimarilerde kullanılmaktadır. Aynı veri paketinin birden fazla yönlendiricide ön belleğe alınması, yönlendiricilerin içerik ön belleğinde (CS – Content Store) saklama alanının dolmasına neden olmaktadır. Bu durumda, içerik yönlendiricisi, çeşitli ön bellek değiştirme algoritmalarını kullanarak, depoladığı veri paketlerini çıkarabilir (Podlipnig, &Böszörmenyi, 2003), (Psaras et al., 2011). Bu algoritmalar, içeriklerin talep sayısına veya belirli bir süre aralığında talep edilme sıklığına bağlı olarak tasarlanmıştır (Bianchi, Detti, Caponi&Melazzi, 2013), (Wang, Bi&Wu, 2013), (Katsaros, Xylomenos&Polyzos, 2011), (Katsaros et al., 2010).

5.3. İçeriği Yayınlayan ve Kullanan Kaynakların Birbirinden Ayrılması

IoT cihazları ağ içerisinde hareketli ve durağan olabilmektedir. Bu nedenle cihazlar arası bağlantı durumu ve ağ topolojisinde sık değişiklikler meydana gelmektedir. Geleneksel ağ mimarisinde, düğümlerin hareketli olması nedeniyle oluşan anlık topoloji değişiklikleri, iki cihaz arasında bağlantının kurulması ve sürdürülmesi için, iletişim protokolüne ek mesajlaşma yükü getirmektedir (Lin, Yu, Zhang, Yang, Zhang&Zhao, 2017). Bilgi merkezli yaklaşımda spesifik bir veri, farklı düğümler tarafından ön belleğe alınır ve veriyi isteyen diğer düğümlere kaynaktan bağımsız olarak dağıtılır. Verinin, herhangi bir düğümden kalıcı bir bağlantı olmaksızın elde edilebilmesi, bağlantının korunmasını gerektirmemektedir. Böylece veriyi yayınlayan ve tüketen kaynaklar birbirinden ayrılır. Veriyi talep eden düğümün hareketli olması veya verinin üretildiği düğümün periyodik-bazlı çalışması nedeniyle erişilememesi durumunda veri, başka bir yönlendirici düğümden elde edilebilmektedir (Rao, Schelén, &Lindgren, 2016). Bunun sonucunda birçok servis ve uygulama için veriye erişim imkânı artmaktadır (Lindgren, Abdesslem, Ahlgren, Schelén& Malik, 2016).

6. Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Bilgi Merkezli Ağ Tasarımına Etki Eden Faktörler

Bilgi merkezli ağ mimarisi kendine özgü tanımladığı özellikler (isimlendirme, ön bellek ve güvenlik) ile günümüz internetine birçok fayda sağlama potansiyeline sahiptir (Ahlgren, Dannewitz, Imbrenda, Kutscher&Ohlman, 2012). ICN temelli ölçeklenebilir bir IoT ağ mimarisi için, önerilen protokollerin ve teknolojilerin kablosuz algılayıcı cihazlarda tasarım faktörlerini göz önünde bulundurmasını gerektirmektedir (Lindgren et al., 2016). Bu durumlar 5 bölümde incelenmiştir.

6.1. İsimlendirme Yöntemleri

Nesnelerin interneti uygulamalarının çoğunluğunda veri ön plandadır (Severance, 2013). Ancak açma kapama komutu alabilen akıllı cihazlar gibi aktüatörlerin kullanıldığı uygulamalarda, cihazlara doğrudan komut gönderilmesine ihtiyaç duyulmaktadır (Amadeo, Campolo&Molinaro, 2014).

Ancak aktüatörlerin/cihazların isimlendirilmesi ICN mimarilerinde desteklenen bir özellik değildir. Bu nedenle aktüatörlerin işlevleri ile eşleşerek isimlendirilmesi yöntemi önerilmiştir (Amadeo et al., 2016). Örneğin, akıllı ev uygulamalarında, belirli bir aktüatöre erişmek ve durumunu değiştirmek için gönderilen mesaj “akilli-ev.tr/isik_sistemi/kat_2/cihaz/OFF” olabilir. Burada “akilli-ev.tr/isik_sistemi”, uygulamanın ismini, “kat_2/cihaz” aktüatörün ismini veya konumunu ve /OFF cihaza gönderilen işlevsel komutu belirtmektedir (Amadeo et al., 2015). Ayrıca, her bir cihazın benzersiz bir isme sahip olması gerekmektedir. Ancak cihazlara benzersiz olarak verilen isimler, bu cihazlara gönderilen komutların boyutundan daha büyük olmaktadır ve kısıtlı cihazlar için isim karşılaştırmalarının yapılmasında işlemci gücünün %85 gibi büyük bir kısmını kullanmaktadır (Lindgren et al., 2016). Flat Naming isimlendirme yönteminde, cihazlar hash algoritmaları ile sabit uzunlukta olacak şekilde isimlendirilirler. Ancak bu yöntemde, cihazlara verilen isimler okunabilir değildir ve hiyerarşik isimlendirmede olduğu gibi parçalanma/birleşme (name aggregation) özelliği olmaması nedeniyle ölçeklenebilir olmamaktadır.

ICN ağlarında, verinin isimlendirilmesi, verinin bulunması ve yönlendirilmesi amacı ile kullanılmaktadır. Literatürde, CCN ve NDN mimarilerinin kablosuz algılayıcı cihazlar için adaptasyon çalışmaları olan CCNx (Saadallah, Lahmadi&Festor, 2012) CCN-lite (CCNLite, 2014) yazılımları mevcuttur. Bu yazılımlarda kullanılan hiyerarşik isimlendirme yöntemi isim örneklerinin parçalanabilir/birleşir yapıda olması nedeniyle ölçeklenebilir. İsim çözümüyle sisteminin yerine, istek mesajlarının yönlendirileceği ara yüzlerin bulunması için yapılan sorgu kısaltılabilir (Arshad et al., 2018a). ICN mimarilerinde hiyerarşik isimlendirmenin en çok kullanılan yöntem olmasının yanı sıra, içeriklere atanan isimlerin daha büyük boyuta sahip olması nedeni ile tek başına verimli bir çözüm olmamaktadır. Örneğin aktüatör veya algılayıcı isimleri, temsil ettikleri verilerden daha büyük olabilmektedir.

ICN ağları, verinin üretildiği kaynak ve uç düğüm arasında bağlantının kurulmadan iletilmesi yöntemi ile veriyi bir veya bir grup cihaz aracılığı ile servis etmektedir. Cihazların ve verinin isimlendirilmesine benzer olarak servislerin de benzersiz olarak isimlendirilmesi gerekmektedir (Lindgren et al., 2016). Servislerin isimlendirilmesi ile periyodik olarak sorgulanan bir veri, birçok düğüm tarafından takip edilmektedir. Servislerin, içerik temin etme, (content retrieval), içerik ismini girdi olarak alıp, karşılığında istenen içeriği gönderen veya bir aktüatöre verilen komutu girdi olarak alıp, aktüatörlerden dönen durum kodunu göndermesi sağlanabilir (Amadeo et al., 2015).

6.2. Önbellekleme Yöntemleri

İçerik merkezli ağlarda performansı etkileyen en önemli faktörlerden biri verinin önbelleğe alınmasıdır. Aynı içeriğin farklı kaynaklardan sık temin edilmesi, sorgulanan içeriğin birçok ara düğümde önbelleğe alınmasını sağlar. İçeriklerin ağ içerisinde önbelleğe alınması, düşük güçte çalışan kablosuz algılayıcı cihazların görev döngüsü nedeniyle erişilemediği durumlara karşı toleransını artırır ve gereksiz gönderimlerden kaçınılmasını sağlayarak enerji verimliliğini artırma potansiyeline sahiptir (Lindgren et al., 2016). Ancak kablosuz algılayıcı cihazlarda depolama alanının sınırlı olması, önbelleğe alınabilecek veri miktarını kısıtlamaktadır.

ICN ağlarında önbellek isabet oranı (Cache Hit Ratio), önbellek isabet uzaklığı (Cache Hit Distance), işlem maliyeti (Operational Cost) vb. metrikler kullanılarak belirli içeriklerin önbelleğe alınması kararı verilmektedir. Önbellek isabeti, içeriğin bir kopyasını bulduran ara düğümünden talep edilmesidir. ICN mimarilerinde sorgulanan içeriğin kopyasını yönlendiren ara düğümler, sakladığı her içerik için isabet miktarı sayısını arttırmaktadırlar. Önbellek isabet uzaklığı, sorgulanan içeriği önbelleğinde bulduran düğüm ile içeriği talep eden düğüm arasındaki uzaklıktır. İşlem maliyetini ise, içeriklerin ağ içerisinde yayınlanması sırasında oluşan ağ trafiği belirlemektedir. İçerikleri önbelleğine kaydeden düğümler, bu içeriklerin kendilerinde olduğunu ağ içerisinde yayınlamaktadırlar. Bu yayınlar, diğer düğümler tarafından yapılan sorguların yönlendirilmesini sağlamaktadırlar. Ancak önbellek kayıtlarında meydana gelen değişiklikler, ağ içerisinde birçok cihazın yönlendirme tablosundaki kayıtların değişmesine ve ek mesajlaşmalara neden olmaktadır (Zhang et al., 2015). Bu nedenle, önbelleğe alma yöntemlerinde, isabet oranı, isabet uzaklığı, işlem maliyeti metriklerinde bellek ve bant genişliği kullanımının optimize edilmesi ve kaynakların adil kullanılması (Wang, Tyson, Kangasharju&Crowcroft, 2016) gerekmektedir.

Geleneksel ağlar için önerilen önbellek kayıt stratejileri, kablosuz algılayıcı cihazların kısıtları doğrultusunda geliştirilmelidir. Yol üzerinde önbelleğe alma mekanizması (on-path caching), iletim katmanında uçtan uca mesajlaşma sayısının azaltılması için kablosuz algılayıcı ağlarda çalışılmıştır (Hahm, Baccelli, Schmidt, Wählisch, Adjih&Massoulié, 2017). Ancak bu yöntem her verinin sadece bir kez sorgulandığı durumlarda ağ performansına etki etmemektedir. Bu nedenle önbellek karar mekanizmalarının uygulama trafiğini sınıflandırması gerekmektedir (Nour et al., 2019). İşbirlikli önbelleğe alma mekanizması (Cooperative Caching) (Saha, Lukyanenko&Ylä-Jääski, 2013) merkezi kontrol gerektirmesi nedeniyle oluşan ağ trafiğinin kısıtlı cihazların enerji tüketimine etkisini göz ardı etmektedir.

Kablosuz algılayıcı cihazlarda enerji tüketimini en aza indirgeyen ortak bir önbellek karar mekanizması düğümlerin uyku döngülerini en üst düzeye çıkararak tasarlanmıştır (Hahm et al., 2017). Bu çalışmada önbelleğe alınan içeriklerin ağ içerisinde yayılması stratejisi, kablosuz IoT sistemindeki içerik erişilebilirliğini arttırırken kaynakların korunabildiğini göstermektedir. Kaynakları kısıtlı IoT düğümlerinde, önbellek karar politikalarının, enerji, güvenlik ve gizlilik gereksinimlerini dikkate alarak optimize edilmesi önemli tasarım faktörleridir. Bununla birlikte, önbellek karar politikaları, algılayıcı cihazların ürettiği içeriklerin hızla değişebileceğini de göz önüne almalıdır. Ayrıca içerikleri uzun süreli kaydetmekten ziyade yayılma hızlarını iyileştirmeye odaklanması gerekmektedir (Amadeo et al., 2016).

Sınırlı depolama kapasitesine sahip kablosuz algılayıcı cihazlarda, içeriklerin önbelleğe alınması için çeşitli algoritmalar literatürde önerilmiştir (Nour et al., 2019): Her Yerde Önbelleğe alma (LCE – Leave Copy Everywhere) (huaRan, Lv, Zhang, yuanMa&Xie, 2013), Olasılıklı Önbelleğe Alma (LCE-prob) (Zhang, Li& Lin, 2013), İçerik Güncelliğine bağlı Önbelleğe Alma (Quevedo, Corujo&Aguiar, 2014). Her yerde kopyalama (LCE) yöntemi, NDN mimarisinde kullanılmaktadır. LCE, içeriğin üretildiği ve sorgulandığı düğümler arasındaki tüm yönlendiricilerde önbelleğe alınmasını ve saklanmasını önerir. Ancak bu yöntem, aynı içeriğin birçok düğümde önbelleğe alınmasına neden olduğu için, ağ içerisinde saklanan içerik

çeşitliliğini azaltır ve kısıtlı depolama alanının verimsiz kullanımına neden olur. LCE-prob, içerik çeşitliliğini arttırmak ve depolama alanının daha verimli kullanılması için önerilmiştir. Ara düğümler $p = 1 / (\text{sekme sayısı})$ olasılığı ile içerikleri önbelleğe alma kararını vermektedir. İçerik güncelliğine bağlı önbelleğe alma yönteminde ara düğümlerin önbellek kayıt tablosuna güncellik (Content Freshness) parametresi eklenmektedir. Ara düğümler, herhangi bir içerik talebini yanıtlamadan önce bu parametreyi kontrol etmektedir ve içeriği kaydetme kararını yine bu parametreyi kullanarak vermektedir. Güncellik eşiği, içeriği talep eden kullanıcılar tarafından belirlenmektedir. İçeriklerin, belirli bir strateji ile önbelleğe kaydedilmesi, önbellek alanının verimli kullanılması açısından önemlidir. Ancak cihazların kısıtlı depolama alanına sahip olmaları, saklanan içeriklerin, içerikler tablosundan (CS) çıkarılmasını gerektirmektedir.

Önbellekte saklanan içeriklerin çıkarılması için LRU (Yakın zamanda erişim) veya LFU (En az erişim talebi) yöntemleri kullanılmaktadır. LRU yöntemi NDN mimarisinde kullanılmaktadır. LRU, en son erişilen içerikleri, saklama alanında öncelikli olarak tutmaktadır. Uzun süre talep edilmeyen içerikler saklama alanından çıkarılır. LFU yöntemi ise en az sıklıkta talep edilen içerikleri saklama alanından çıkarmaktadır. Bu yöntemlere ek olarak, önbelleğe alma yönteminin ağ performansına etkisini arttırmak için İçerik Popülaritesini kullanan saklama yöntemi önerilmiştir (Quevedo et al., 2014). Bu yöntem İçerik popülaritesi tablosu tanımlamaktadır. Bu tabloda önbellekte saklanan içeriklerin talep edilme sıklığı kaydedilmektedir. LRU ve LFU yöntemlerinden daha etkili olmasının yanında daha fazla işlemci gücü gerektirmesi nedeniyle kablosuz algılayıcı cihazlarda verimli bir yöntem olmamaktadır. İçeriklerin önbelleğe kaydedilmesinde kullanılan karar politikalarının ve önbellek içerik tablosundaki içeriklerin değiştirilmesi yöntemlerinin daha az bellek ve kaynak tüketimi ile veri çeşitliliğini arttırması amaçlanmalıdır.

6.3. Servis Modelleri

IoT uygulamalarında farklı tipteki algılayıcı düğümlerden verinin elde edilmesi için farklı servis modelleri kullanılabilir. Literatürde başlıca kullanılan servis modelleri Pull (Amadeo et al., 2015), Push (Amadeo et al., 2016), ve Publish/Subscribe (Fotiou et al., 2012) servis modelleridir. Aşağıda kullanılan bu servis modelleri ICN'de kullanılabilirliği açısından incelenmiştir.

6.3.1. Pull Modeli

Veriyi isteyen kullanıcı/uygulama bir Interest paketi gönderir. Interest paketi uç cihazdan istenen bir ölçüm değeri ya da bir aksiyon emri ile ilgili son durum olabilir. Böylece uç cihaz aksiyon sonucunu ya da istenen veriyi hazırlayıp Data paketi gönderir. Pull servis modelinde veri akışını başlatan verinin tüketicisidir bu nedenle bu servis modeli ICN mimarisinin temelinde desteklenmektedir.

6.3.2. Push Modeli

Bu servis modelinde, veri, ilgi paketi olmadan uç cihazdan kullanıcıya/uygulamaya gönderilir. Burada pull modelinden farklı olan durum, verinin herhangi bir interest paketi olmadan uç düğümden kullanıcıya gönderilmesidir. Belirli aralıklarla veya bir olayın gerçekleşmesine bağlı olarak veri, üretici kaynaktan tüketiciye iletebilmektedir. Önerilen servis modeli bilgi merkezli ağlar tarafından desteklenmemektedir. Bu servis

modelini bilgi merkezli ağlarda publish/subscribe modeli ile desteklemek mümkündür (Lindgren et al., 2016).

6.3.3. Publish/Subscribe Modeli

ICN ağlarında yayın/abone modeli desteklenmemektedir. Ancak bu model periyodik olarak içerik ilgi mesajlarının gönderilmesi ile taklit edilebilmektedir (Fotiou et al., 2012). Ancak abonelik sistemini taklit etmek için periyodik olarak gönderilen içerik ilgi paketlerinin, veri paketleri olduğu kadar çok sayıda ekstra ilgi mesajı paketi oluşturacağı göz önünde bulundurulmalıdır.

6.4. Üretilen İçeriklere Ait Özelliklerin Yayınlanması

ICN'de düğümler, ürettikleri ve sakladıkları veriyi duyurmak için yayın yöntemini kullanmaktadırlar. Bu yayın sayesinde tüketiciler, içerik istek mesajlarını oluşturmaktadırlar. Ayrıca düğümlerin, kendilerine ait özellikleri duyurmasının yanı sıra, tüketicilere hangi verinin sağlanabileceğini keşfetmeleri için de bu yayın kullanılmaktadır. Çok sayıda yayıncının otomatik yayın ve keşif yapması ölçeklenebilirlik için kritik önem taşımaktadır. Yayıncı düğümler fonksiyonlarını duyurmalı ve istemcilere meta datayı (aktüatörler için girdi/çıkış bilgisi, parametreler, vb.) bildirmelidir. Ancak, düğüm özelliklerinin ve üretilen içeriğin duyurulması için kullanılan yayın yöntemi, kaynaklara bağlı belirlenmelidir. ICN ağlarında keşif yayını desteklenmektedir. Burada dinamik değişimler için gerçek zamanlı durum farkındalığı, veri yayılımı publish/subscribe veya push modeli ile sağlanabilir (Amadeo et al., 2016). Algılayıcı cihazların, kablosuz ortam doğası sebebiyle diğer cihazlara ait verileri duyması keşif yayınlarını mümkün kılmaktadır. Ancak Ad-hoc ağlarda, önbellek kullanımı az miktarda mümkün gözükmesine rağmen kablosuz düğümler için strateji her zaman iletişimi minimumda tutarak, düğümlerin sadece kendi verileriyle işlem yapması olmalıdır (Baccelli et al., 2014).

6.5. Güvenlik

IoT sayesinde, verilerin çok sayıda kullanıcı ve uygulama tarafından erişilebilmesi, hemen hemen her ortam ile ilgili hassas bilgiler toplayan cihazların ve bu hassas bilgilerin güvenliğinin sağlanmasını daha önemli hale getirmiştir (Hassija, Chamola, Saxena, Jain, Goyal&Sikdar, 2019). IoT kapsamında kullanılan kablosuz algılayıcı cihazların işlemci gücü, depolama alanı ve enerji kısıtları bu cihazların doğası gereği zafiyetli olmasına neden olmaktadır. Aynı zamanda kablosuz iletim ortamında hassas bilgileri içeren paketlerin kaybolması, bozulması gibi problemler bu ortamlarda sıklıkla tecrübe edilmektedir (Wang, Attebury&Ramamurthy, 2006). Bu nedenle, IoT gibi karmaşık ve dinamik bir sistemde güvenliğin sağlanması kritik önem taşımaktadır. Bunun için, kablosuz algılayıcı ağların kullanıldığı uygulamalarda güvenlik gereksinimleri, Verinin gizliliği (Data Confidentiality), Kaynak Kimlik Doğrulaması (Source Authentication), Veri Bütünlüğü (Data Integrity) ve Verinin Erişilebilirliği (Availability) olarak belirlenmiştir (Burhanuddin et al., 2018).

IP tabanlı İnternet uygulamalarında verinin kendisi ile entegre olan güvenlik modelleri desteklenmemektedir. Bunun yerine uçtan uca iletişimin kurulduğu ip ağlarında, güvenli oturumun oluşması için iki uç arasında iletişim kanalının güvenliği, TLS/DTLS/SSL güvenlik protokolleri ile sağlanmaktadır. Ayrıca içerik bütünlüğü ve kimlik doğrulaması gibi mekanizmalar üst katmanlara sonradan eklenmiştir. Bu

protokollerin yüksek mesajlaşma gereksinimi, paketlerin gecikmesine sebep olarak ağ ve uygulama performansını düşürmektedir. Kısıtlı kaynaklara sahip kablosuz cihazların, güvenli bir iletişim kanalı sağlamak için harcamakta olduğu enerji, şifreleme algoritmaları için harcayacağı enerjiden fazladır. Bu durumda, içeriğin kendisi ile entegre olan güvenlik yöntemleri kısıtlı cihazlar için verimli bir çözüm olma potansiyelini taşımaktadır (Rao et al., 2016). Bilgi merkezli ağ yaklaşımını, IoT uygulamaları ve geleceğin internet mimarisi için güçlü bir aday haline getiren mekanizmalardan biri de güvenliğin içeriğin kendisi ile sağlanmasıdır. ICN de verinin güvenliği, tamlık(integrity), doğruluk (authenticity), gizlilik (confidentiality/privacy) kontrolü ile sağlanmaktadır (Tourani, Misra, Mick&Panwar, 2017). Tamlık kontrolü, isim – veri ikilisinden oluşmaktadır. Bu durumda verinin kendisine, verilen isimle erişilir. Verinin imza bazı isimlendirme yöntemi ile erişilmesi doğruluk şartını da sağlamaktadır. Gizlilik kontrolü, iletişim ve uygulama katmanlarında sağlanmaktadır. Bunun yanında, çeşitli IoT uygulamalarında cihazların güvenliği de sağlanmalıdır (Amadeo et al., 2016). Bu durumda kimlik denetimi ve yetkilendirme kontrolü gerekmektedir. Örneğin, bir aktüatöre komut gönderen cihazların kimlik denetiminden geçmesi gerekebilir. Ancak ICN, ilgi ve veri mesajlarının güvenliğine odaklanmaktadır. Bu nedenle kablosuz cihazları kullanan farklı servis modelleri için ek güvenlik mekanizmaları kullanılmalıdır.

Geleneksel ICN ağlarında, açık anahtarlı şifreleme (public key cryptography) yöntemi kullanılmakta ve veri/ilgi paketlerinin sonuna şifreleme bilgisi eklenmektedir. Kablosuz algılayıcı ağlarda, verinin gizliliği, anahtar paylaşımı AES, Blowfish, Triple DES çeşitli şifreleme algoritmaları ile sağlanmaktadır (Panda, 2016). Ancak anahtar kullanımı ve şifreleme tek başına yeterli olmamaktadır. Kablosuz ortamda, şüpheli düğümler kolayca diğer düğümlerin iletişim kapsamına girerek hassas verileri gizlice dinleyebilmekte ve şifrelerini çözebilmektedirler (Roy&Khan, 2019). Kaynak kimlik doğrulaması, veriyi gönderen ve alan düğümlerin, kötü amaçlı sahte paketlerle orijinal paketleri ayırt etmesi amacıyla kullanılmaktadır. Düğümlerin gizli anahtarları paylaşımı simetrik ve asimetrik şifreleme mekanizmalarıyla sağlanmaktadır (Shi, &Perrig, 2004). Ancak kullanılan şifreleme mekanizmalarının, işlemci kullanımını ve iletişim paketlerinin boyutunu arttırması kaynakları kısıtlı kablosuz algılayıcı cihazlarda verimliliği düşürmektedir (Tourani et al., 2018). Eliptik Eğri Şifreleme yöntemi diğer yöntemlere kıyasla daha küçük boyutta ürettiği anahtar yapısıyla güvenliği daha düşük işlemci gücü ile sağlamakta ve kısıtlı IoT cihazlarında uygulanabilmektedir. Ancak bu yöntem anahtar değişimi gerektirmektedir ve anahtarların uçlar arasında paylaşılması iletişime ek yük getirmektedir. Veri bütünlüğü, kablosuz iletim ortamının koşullarından kaynaklanan verilerin zarar görmesi veya kaybolmasının tespit edilmesi açısından önemlidir. Ancak kötü amaçlı düğümlerin yanlış veri enjekte etmesi veya iletişim paketlerinin içindeki verileri değiştirmesi söz konusu olabilir. Bu nedenle verinin bütünlüğü sadece hata kontrol mekanizmaları için değil, aynı zamanda güvenliğin sağlanması açısından da önemlidir. Verinin erişilebilir olması, kablosuz algılayıcı düğümler veya ağ içerisinde bir grup düğüm servis dışı bırakma (DoS – Denial of Service) saldırısına maruz kaldığında önemlidir. Literatürde her bir saldırı çeşidi için güvenlik mekanizmaları geliştirilmiştir. Saldırı bazlı güvenlik önlemi alan bu mekanizmalar uygulama gereksinimlerine özel olarak tasarlanmalıdır (Burhanuddin et al., 2018).

7. Sonuç

Nesnelerin interneti kavramı ile farklı kablosuz teknolojiye sahip çok sayıda heterojen cihaz internet altyapısında kendine yer bulmaktadır. Bu cihazların mevcut internet uygulama protokolleri ve birbirleri ile uyumlu çalışabilmesi problemi son yıllarda birçok araştırma grubunun ilgisini çekmiş ve farklı çözüm önerileri sunulmuştur. Açık standartlara dayalı 6LoWPAN teknolojisine sahip çözümler mevcut iletişim protokolleri ile ağ katmanında uyumlu çalışabilirliği ve kablosuz çok sayıda cihazın internete bağlanmasını sağlamıştır. Ancak bu çözümler, uçtan uca iletişimin kurulmasını ve sürdürülmesini gerektirmekte, İnternete bağlı cihaz sayısı ve üretilen verinin miktarı göz önünde bulundurulduğunda, uca uca haberleşme modeli ölçeklenebilir olmamaktadır. Buna ek olarak IoT uygulamalarının çoğunluğunda kullanıcılar, hangi adresten elde edildiği bilgisi yerine verinin kendisi ile ilgilenmektedir. Bu noktada bilgi merkezli ağ mimarisi sahip olduğu farklı nitelikleri ile oldukça dikkat çekmiştir. Bu mimari, verinin isimlendirilmesi ile bulunduğu adresten bağımsız olarak iletilmesini, verinin ara düğümlerde önbelleğe alınması ile çok sayıda kullanıcının aynı veriyi elde etmek için üreteceği ağ trafiğinin düşürülmesini ve verinin kendi kendini sertifikalandırmasını sağlamaktadır. Bilgi merkezli ağ mimarisi kapsamında sunulan farklı çözümler ile IoT uygulamalarının ölçeklenebilirliğini arttıracığı gözlemlenmektedir. Bu makalede gelecek nesil IoT uygulamaları için Bilgi merkezli Ağ mimarisinin kullanılabilirliği irdelenmiş ve halihazırda yapılan çalışmalar özetlenmiştir. Bilgi merkezli ağlar, IoT teknolojisinin yaygınlaşması ile daha da artacak olan İnternet trafiği ve performans gereksinimi için ümit verici bir çözüm olarak literatürde yerini almaktadır. Bilgi merkezli ağların IoT uygulamalarında kullanılabilirliğini arttırmak ve performans kriterlerini göz önüne alarak mevcut İnternet ortamına entegrasyonunu temin etmek için önerilen yeni protokoller bu nokta da oldukça dikkat çeken bir konudur. Özellikle gittikçe artan trafik yükü, kullanıcı gereksinimleri, IoT cihazların kısıtları ve uygulamalarda kullanılan teknolojilerin heterojen yapılarını göze alarak geliştirilecek her çözüm yeni nesil İnternet çalışmalarında yerini almaya adaydır. Bu makale de kısıtlı donanımsal kaynaklara sahip IoT cihazlarının bilgi merkezli ağ mimarisini kullanabilmelerinde karşılaşılan mevcut problemler ve bu problemlere ait çözüm önerileri irdelenmiş, özellikle bu alanda çalışan uygulama tasarımcılarına ve ağ mühendislerine yardımcı olmak amaçlanmıştır.

Kaynakça

- Ahlgren, B., Dannewitz, C., Imbrenda, C., Kutscher, D., & Ohlman, B. (2012). A survey of information-centric networking. *IEEE Communications Magazine*, 50(7), 26-36.
- Akyildiz, I., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., & Cayirci, E. (2002). Wireless sensor networks: a survey. *Computer Networks*, 38(4), 393–422. doi: 10.1016/s1389-1286(01)00302-4
- Al-Sarawi, S., Anbar, M., Alieyan, K., & Alzubaidi, M. (2017). Internet of Things (IoT) communication protocols: Review. *2017 8th International Conference on Information Technology (ICIT)*, 685–690. doi: 10.1109/icitech.2017.8079928
- Amadeo, M., Campolo, C., & Molinaro, A. (2014, December). Internet of things via named data networking: The support of push traffic. In *2014 International Conference and*

- Workshop on the Network of the Future (NOF) (pp. 1-5). IEEE.
- Amadeo, M., Campolo, C., Iera, A., & Molinaro, A. (2015). Information Centric Networking in IoT scenarios: The case of a smart home. 2015 IEEE International Conference on Communications (ICC), 648–653. doi: 10.1109/icc.2015.7248395
- Amadeo, M., Campolo, C., Quevedo, J., Corujo, D., Molinaro, A., Iera, A., ... & Vasilakos, A. V. (2016). Information-centric networking for the internet of things: challenges and opportunities. *IEEE Network*, 30(2), 92-100.
- Arshad, S., Azam, M. A., Rehmani, M. H., & Loo, J. (2018b). Recent advances in information-centric networking-based Internet of Things (ICN-IoT). *IEEE Internet of Things Journal*, 6(2), 2128-2158.
- Arshad, S., Shahzaad, B., Azam, M. A., Loo, J., Ahmed, S. H., & Aslam, S. (2018a). Hierarchical and flat-based hybrid naming scheme in content-centric networks of things. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(2), 1070-1080.
- Aschenbruck, N., & Fuchs, C. (2011). STMP; Sensor data transmission and management protocol. 2011 IEEE 36th Conference on Local Computer Networks, 475–483. doi: 10.1109/lcn.2011.6115509
- Ascigil, O., Reñé, S., Xylomenos, G., Psaras, I., & Pavlou, G. (2017, September). A keyword-based ICN-IoT platform. In *Proceedings of the 4th ACM Conference on Information-Centric Networking* (pp. 22-28).
- Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, 54(15), 2787–2805. doi: 10.1016/j.comnet.2010.05.010
- Aydemir, F. (2019). Internet of Things Based Parking Lot LED Lighting System. *European Journal of Science and Technology*, (17), 71-76.
- Babayigit, B., & Doğan, F. (2019) Bilgi Merkezli Ağların Mevcut Ağ Mimarisine Adapte Edilmesi. ISAS2019, Ankara, Turkey
- Baccelli, E., Mehlis, C., Hahm, O., Schmidt, T. C., & Wählisch, M. (2014). Information centric networking in the IoT. *Proceedings of the 1st International Conference on Information-Centric Networking - INC 14*, 77–86. doi: 10.1145/2660129.2660144
- Baugher, M., Davie, B., Narayanan, A., & Oran, D. (2012). Self-verifying names for read-only named data. 2012 *Proceedings IEEE INFOCOM Workshops*, 44(5), 12–19. doi: 10.1109/infcomw.2012.6193505
- Bianchi, G., Detti, A., Caponi, A., & Blefari Melazzi, N. (2013). Check before storing: What is the performance price of content integrity verification in LRU caching?. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 43(3), 59-67.
- Bormann, C., Castellani, A. P., & Shelby, Z. (2012). CoAP: An Application Protocol for Billions of Tiny Internet Nodes. *IEEE Internet Computing*, 16(2), 62–67. doi: 10.1109/mic.2012.29
- Bromberg, Y.-D., & Issarny, V. (2005). INDISS: Interoperable Discovery System for Networked Services. *Middleware 2005 Lecture Notes in Computer Science*, 164–183. doi: 10.1007/11587552_9
- Bromberg, Y.D., Grace, P., & Réveillère, L. (2011). Starlink: Runtime Interoperability between Heterogeneous Middleware Protocols. 2011 31st International Conference on Distributed Computing Systems, 446–455. doi: 10.1109/icdcs.2011.65
- Burhanuddin, M. A., Mohammed, A. A. J., Ismail, R., Hameed, M. E., Kareem, A. N., & Basiron, H. (2018). A review on security challenges and features in wireless sensor networks: IoT perspective. *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering (JTEC)*, 10(1-7), 17-21.
- Castellani, A. P., Bui, N., Casari, P., Rossi, M., Shelby, Z., & Zorzi, M. (2010). Architecture and protocols for the Internet of Things: A case study. 2010 8th IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops), 678–683. doi: 10.1109/percomw.2010.5470520
- CCNLite (2014). Lightweight implementation of the content centric networking protocol.
- Chen, E. T. (2017). The Internet of Things. *The Internet of Things in the Modern Business Environment Advances in E-Business Research*, 167–187. doi: 10.4018/978-1-5225-2104-4.ch009
- Cho, J., Shim, Y., Kwon, T., Choi, Y., & Kim, S. (2007). SARIF: A novel framework for integrating wireless sensor and RFID networks. *IEEE Wireless Communications*, 14(6), 50–56. doi: 10.1109/mwc.2007.4407227
- Cisco Annual Internet Report (2018–2023) White Paper. (2020, March 10). Retrieved from <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.html>
- Dannewitz, C., Kutscher, D., Ohlman, B., Farrell, S., Ahlgren, B., & Karl, H. (2013). Network of Information (NetInf) – An information-centric networking architecture. *Computer Communications*, 36(7), 721–735. doi: 10.1016/j.comcom.2013.01.009
- Derhamy, H., Eliasson, J., & Delsing, J. (2017). IoT Interoperability—On-Demand and Low Latency Transparent Multiprotocol Translator. *IEEE Internet of Things Journal*, 4(5), 1754–1763. doi: 10.1109/jiot.2017.2697718
- Detti, A., Melazzi, N. B., Salsano, S., & Pomposini, M. (2011). Conet. *Proceedings of the ACM SIGCOMM Workshop on Information-Centric Networking - ICN 11*, 50–55. doi: 10.1145/2018584.2018598
- Dunkels, A., Alonso, J., & Voigt, T. (2003). Making TCP/IP viable for wireless sensor networks.
- Ersin, Ç. & Öz, Ali. (2020). IoT Based Embedded System Desing and Implementation for Occupational Health and Safety. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 494-504.
- Fotiou, N., Nikander, P., Trossen, D., & Polyzos, G. C. (2012). Developing Information Networking Further: From PSIRP to PURSUIT. *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering Broadband Communications, Networks, and Systems*, 1–13. doi: 10.1007/978-3-642-30376-0_1
- G. García, A. Beben, F. J. Ramón, A. Maeso, I. Psaras, G. Pavlou, N. Wang, J. Śliwiński, S. Spirou, S. Soursos, & E. Hadjoannou (2011). COMET: Content mediator architecture for content-aware networks. In *2011 Future Network Mobile Summit* (pp. 1-8).
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645–1660. doi: 10.1016/j.future.2013.01.010
- Hahm, O., Baccelli, E., Schmidt, T. C., Wählisch, M., Adjih, C., & Massoulié, L. (2017, September). Low-power internet of things with NDN & cooperative caching. In *Proceedings of*

- the 4th ACM Conference on Information-Centric Networking (pp. 98-108).
- Hassija, V., Chamola, V., Saxena, V., Jain, D., Goyal, P., & Sikdar, B. (2019). A survey on IoT security: application areas, security threats, and solution architectures. *IEEE Access*, 7, 82721-82743.
- hua Ran, J., Lv, N., Zhang, D., yuan Ma, Y., & yong Xie, Z. (2013, August). On performance of cache policies in named data networking. In 2013 International Conference on Advanced Computer Science and Electronics Information (ICACSEI 2013). Atlantis Press.
- Hunkeler, U., Truong, H. L., & Stanford-Clark, A. (2008). MQTT-S; A publish/subscribe protocol for Wireless Sensor Networks. 2008 3rd International Conference on Communication Systems Software and Middleware and Workshops (COMSWARE 08), 791-798. doi: 10.1109/comswa.2008.4554519
- Jacobson, V., Smetters, D. K., Thornton, J. D., Plass, M. F., Briggs, N. H., & Braynard, R. L. (2009). Networking named content. *Proceedings of the 5th International Conference on Emerging Networking Experiments and Technologies - CoNEXT 09*, 117-124. doi: 10.1145/1658939.1658941
- Katsaros, K., Xylomenos, G. and Polyzos, G. (2010). A Hybrid Overlay Multicast and Caching Scheme for Information-Centric Networking. 2010 INFOCOM IEEE Conference on Computer Communications Workshops.
- Katsaros, K., Xylomenos, G., & Polyzos, G. C. (2011). MultiCache: An overlay architecture for information-centric networking. *Computer Networks*, 55(4), 936-947.
- Koponen, T., Chawla, M., Chun, B.G., Ermolinskiy, A., Kim, K. H., Shenker, S., & Stoica, I. (2007). A data-oriented (and beyond) network architecture. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 37(4), 181. doi: 10.1145/1282427.1282402
- Li, S., Zhang, Y., Raychaudhuri, D., & Ravindran, R. (2014). A comparative study of MobilityFirst and NDN based ICN-IoT architectures. 10th International Conference on Heterogeneous Networking for Quality, Reliability, Security and Robustness, 158-163. doi: 10.1109/qshine.2014.6928680
- Lin, J., Yu, W., Zhang, N., Yang, X., Zhang, H., & Zhao, W. (2017). A Survey on Internet of Things: Architecture, Enabling Technologies, Security and Privacy, and Applications. *IEEE Internet of Things Journal*, 4(5), 1125-1142. doi: 10.1109/jiot.2017.2683200
- Lin, J., Yu, W., Zhang, N., Yang, X., Zhang, H., & Zhao, W. (2017). A survey on internet of things: Architecture, enabling technologies, security and privacy, and applications. *IEEE Internet of Things Journal*, 4(5), 1125-1142.
- Lindgren, A., Abdesslem, F. B., Ahlgren, B., Schelén, O., & Malik, A. M. (2016, January). Design choices for the IoT in information-centric networks. In 2016 13th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC) (pp. 882-888). IEEE.
- Montenegro, G., Kushalnagar, N., Hui, J., & Culler, D. (2007). Transmission of IPv6 Packets over IEEE 802.15.4 Networks. doi: 10.17487/rfc4944
- Moritz, G., & Golatowski, F. (2017). IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks (6LoWPAN) and Constrained Application Protocol (CoAP). *Industrial Communication Technology Handbook*. doi: 10.1201/b17365-40
- Nour, B., Sharif, K., Li, F., Biswas, S., Mounsla, H., Guizani, M., & Wang, Y. (2019). A survey of Internet of Things communication using ICN: A use case perspective. *Computer Communications*, 142-143, 95-123. doi: 10.1016/j.comcom.2019.05.010
- Panda, M. (2016, October). Performance analysis of encryption algorithms for security. In 2016 International Conference on Signal Processing, Communication, Power and Embedded System (SCOPE5) (pp. 278-284). IEEE.
- Podlipnig, S., & Böszörményi, L. (2003). A survey of web cache replacement strategies. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 35(4), 374-398.
- Psaras, I., Clegg, R. G., Landa, R., Chai, W. K., & Pavlou, G. (2011, May). Modelling and evaluation of CCN-caching trees. In International Conference on Research in Networking (pp. 78-91). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Quevedo, J., Corujo, D., & Aguiar, R. (2014, April). Consumer driven information freshness approach for content centric networking. In 2014 IEEE conference on computer communications workshops (INFOCOM WKSHP5) (pp. 482-487). IEEE.
- Rao, A., Schelén, O., & Lindgren, A. (2016, October). Performance implications for IoT over information centric networks. In *Proceedings of the Eleventh ACM Workshop on Challenged Networks* (pp. 57-62).
- Roy, A. K., & Khan, A. K. (2019). Architectural and Security Prospective of Wireless Mesh Network. *International Journal of Computational Intelligence & IoT*, 2(1).
- Saadallah, B., Lahmadi, A., & Festor, O. (2012). CCNx for Contiki: implementation details.
- Saha, S., Lukyanenko, A., & Ylä-Jääski, A. (2013, April). Cooperative caching through routing control in information-centric networks. In 2013 Proceedings IEEE INFOCOM (pp. 100-104). IEEE.
- Sen, J. (2010). A survey on wireless sensor network security. arXiv preprint arXiv:1011.1529.
- Severance, C. (2013). Van Jacobson: Content-Centric Networking. *Computer*, 46(1), 11-13. doi: 10.1109/mc.2013.34
- Shang, W., Yu, Y., Droms, R., & Zhang, L. (2016). Challenges in IoT networking via TCP/IP architecture. Technical Report NDN-0038. NDN Project.
- Shelby, Z., & Bormann, C. (2009). 6LoWPAN: the wireless embedded internet. Chichester, West Sussex, U.K.: John Wiley & Sons.
- Sheng, Z., Yang, S., Yu, Y., Vasilakos, A., Mccann, J., & Leung, K. (2013). A survey on the ietf protocol suite for the internet of things: standards, challenges, and opportunities. *IEEE Wireless Communications*, 20(6), 91-98. doi: 10.1109/mwc.2013.6704479
- Shi, E., & Perrig, A. (2004). Designing secure sensor networks. *IEEE Wireless Communications*, 11(6), 38-43.
- Stann, F., & Heidemann, J. (2003, May). RMST: Reliable data transport in sensor networks. In *Proceedings of the First IEEE International Workshop on Sensor Network Protocols and Applications*, 2003. (pp. 102-112). IEEE.
- Tagami, A., & Arumathurai, M. (2016). GreenICN Project: Architecture and Applications of Green Information Centric Networking. *IEICE Transactions on Communications*, E99.B(12), 2470-2476. doi: 10.1587/transcom.2016cni0001
- Taştan, M. (2019). Nesnelerin İnterneti Tabanlı Akıllı Sulama ve Uzaktan İzleme Sistemi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 229-236.

- Tourani, R., Misra, S., Mick, T., & Panwar, G. (2017). Security, privacy, and access control in information-centric networking: A survey. *IEEE communications surveys & tutorials*, 20(1), 566-600.
- Tourani, R., Misra, S., Mick, T., & Panwar, G. (2018). Security, Privacy, and Access Control in Information-Centric Networking: A Survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20(1), 566–600. doi: 10.1109/comst.2017.2749508
- Waltari, O., & Kangasharju, J. (2016). Content-Centric Networking in the Internet of Things. 2016 13th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC), 73–78. doi: 10.1109/ccnc.2016.7444734
- Wang, L., Tyson, G., Kangasharju, J., & Crowcroft, J. (2016, November). FairCache: Introducing fairness to ICN caching. In 2016 IEEE 24th International Conference on Network Protocols (ICNP) (pp. 1-10). IEEE.
- Wang, S., Bi, J., & Wu, J. (2013). Collaborative caching based on hash-routing for information-centric networking. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 43(4), 535-536.
- Wang, Y., Attebury, G., & Ramamurthy, B. (2006). A survey of security issues in wireless sensor networks.
- Zhang, G., Li, Y., & Lin, T. (2013). Caching in information centric networking: A survey. *Computer Networks*, 57(16), 3128-3141.
- Zhang, G., Li, Y., & Lin, T. (2013). Caching in information centric networking: A survey. *Computer Networks*, 57(16), 3128-3141.
- Zhang, M., Luo, H., & Zhang, H. (2015). A survey of caching mechanisms in information-centric networking. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(3), 1473-1499.



Mock-Chebyshev Noktalarında Vandermonde Matrisinin Bir Uygulaması: Kovid-19 Vaka Tahmini

B. Ali İbrahimoglu^{1*}

^{1*} Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalürji Fakültesi, Matematik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3644-2201), bibrahim@yildiz.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 2 Aralık 2020 ve Kabul Tarihi 14 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.834950)

ATIF/REFERENCE: İbrahimoglu, B. A. (2021). Mock-Chebyshev Noktalarında Vandermonde Matrisinin Bir Uygulaması: Kovid-19 Vaka Tahmini. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 172-180.

Öz

Birbirinden farklı interpolasyon noktalarında (veya nodlarında) verilen dalar kullanılarak, polinom interpolasyon problemi monomial bazlar ile ifade edilebilir. Bu ifade, Vandermonde matrisi ile beraber bir lineer denklem sistemi oluşturur. Reel sayılarda verilen interpolasyon noktaları için bu noktaların sayısı çok küçük değilse; Vandermonde matrisi genel olarak kötü durumludur ve bu kötü durumluluk bu matris ile çalışmanın zorluklarından biridir. Bu kötü durumluluğun derecesi, interpolasyon noktalarının dağılımına bağlı olarak epeyce farklılık gösterebilir. Bu bağlamda, noktalarının dağılımı eşit aralıklı olmaktan epey uzak olan Chebyshev nodlarının kullanılması genelde tavsiye edilmektedir. Ancak, bu takdirde, deneysel verilerin sadece eşit aralıklı noktalarda mevcut olması durumunda ne yapılacağı problemi ortaya çıkar. Bu durumda, polinom interpolasyonunda iyi bilinen şu sorun oluşur: ele alınan fonksiyon interpolasyon aralığının her yerinde analitik olsa bile, eşit aralıklı noktalardaki interpolasyon polinomları yakınsamayabilir. Bu sorunun sebebi, Runge olgusu olarak bilinir. İnterpolasyon işlemlerinin Chebyshev nodlarında en iyi sonucu verme avantajından faydalanarak, Runge olgusunun üstesinden gelmenin en iyi yollarından biri, polinom interpolasyonunda mock-Chebyshev noktalarını kullanmaktır. Eşit aralıklı noktaların genişçe bir kümesinden seçilen bu noktalar asimptotik olarak Chebyshev noktalarının dağılımını takip ederler. Bu noktaların hesaplanması konusunda, literatürde çok az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada, mock-Chebyshev noktalarını hesaplayan hızlı bir algoritma tanıtılmaktadır. Bu algoritma ile elde edilen noktalar kullanılarak, Kovid-19 vakalarını tahmin etmek için Vandermonde matrisinin bu noktalardaki bir uygulaması verilmektedir. İnterpolasyon noktalarının dağılımının Vandermonde matrisinin durumu açısından rolü ayrıca değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Vandermonde matrisi, Mock-Chebyshev interpolasyon, Nod dağılımları.

An Application of the Vandermonde matrix with the mock- Chebyshev nodes: Estimating Covid-19 Cases

Abstract

The polynomial interpolation problem through data given at a set of distinct interpolation points (or nodes) can be expressed in the monomial basis. This gives rise to a linear system of equations with a Vandermonde matrix. A difficulty with a Vandermonde matrix is that this matrix is generally quite ill-conditioned when the nodes are real and the number of points is not very small. This ill-conditioning may vary reasonably with the distribution of the points. The general recommendation is to use the highly non-uniform Chebyshev nodes, but the problem remains what to do if experimental data is available only at equally spaced points. In this case, polynomial interpolation has the well-known drawback that polynomial interpolants in equally spaced points might not converge, even if the considered function is analytic anywhere on the interval. The reason of this fact is termed the Runge phenomenon. By taking advantage of the optimality of the interpolation processes on Chebyshev nodes, one of the best strategies to defeat the Runge phenomenon is to use the mock-Chebyshev points for polynomial interpolation, which asymptotically follow the Chebyshev

* Sorumlu Yazar: bibrahim@yildiz.edu.tr

distribution and they are selected from a large set of equispaced nodes. Yet, little literature exists on the computation of these points. A fast algorithm for computing the mock-Chebyshev nodes is introduced. Using the points obtained by the algorithm, an application of the Vandermonde matrix with these points is provided in order to estimate Covid-19 cases. We also consider the role of distribution of the interpolation points in terms of the conditioning of the Vandermonde matrix.

Keywords: Vandermonde matrix, Mock-Chebyshev interpolation, Node distributions.

1. Giriş

Nümerik analizde önemli bir yeri olan yaklaşım teorisi, Uygulamalı Matematik ve Hesaplamalı Bilimlerde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bazı fiziksel davranışları tanımlayan fonksiyon ve büyüklüklerin yaklaşımlarının bulunması bilimsel hesaplamaların bir parçasıdır. Görüntü işleme, materyal tasarımı, konuşma analizi, video sinyal filtreleme, kuyruk problem, nanoteknoloji, robotik, matematiksel finans, sinir ağları ve ağ trafiği bunlardan bazılarıdır. Bazı davranışları yaklaşık olarak temsil eden basit bir matematik fonksiyonunu bulmanın iki zorluğu vardır. Bunlardan biri, çalışılan davranışın kapalı bir matematik formülü ile ifade edilememesi; diğeri ise, elde edilen formülün herhangi bir uygulamada pratik olarak kullanılamayacak kadar karmaşık olmasıdır. Her iki durum için bu temsil fonksiyonu basit bir yapıda olması gerekmektedir. Bu durumda, hangi matematik fonksiyonlarının basit yapıda olduğu sorusu ortaya çıkar. Uygulamada en hızlı ve en basit fonksiyonlar polinomlardır. Çünkü, polinomlar sadece hızlıca yapılabilen temel işlemler olan toplama ve çarpma işlemlerini kullanırlar. Bu yüzden, basit ve kullanışlı bir yaklaşım yöntemi olan polinom interpolasyon konusunun geçmişten günümüze yoğun bir şekilde çalışıldığı ve bu yöntemin matematiksel modellemede sıklıkla kullanıldığı görülmektedir.

Birbirinden farklı interpolasyon noktaları ve bu noktalarda verilen datalar kullanılarak, polinom interpolasyon problemi çeşitli polinom bazlarıyla ifade edilebilir. Bunların her biri interpolasyon şartlarını sağlayan çeşitli avantaj veya deavantajlara sahip farklı lineer sistemler üretirler. Burada, standart tek terimli monomial bazları, bölünmüş farkları kullanan Newton bazlarını, Lagrange bazlarını veya herhangi bir ortogonal polinomunun bazlarının seçilmesini örnek olarak verebiliriz. Kullanılan interpolasyon noktaları aynı kalmak şartıyla bir ve yalnız bir polinom elde edilebildiğinden, farklı bazların kullanılması aynı polinomun farklı formlarda üretilmesi sonucunu verir. Bununla beraber, baz seçimi matematiksel açıdan bir fark oluşturmasa da interpolasyon polinomunu sayısal olarak hesaplarken problemin durumunu önemli ölçüde etkiler.

Birbirinden farklı x_0, \dots, x_n interpolasyon noktalarında (veya nodlarında) verilen f_0, \dots, f_n dataları kullanılarak, interpolasyon polinomu monomial bazlarda $1, x, \dots, x^n$ fonksiyonlarının bir lineer kombinasyonu şeklinde ifade edilebilir. Bu durumda Vandermonde matrisi olarak adlandırılan katsayılar matrisi ile beraber bir lineer denklem sistemi elde edilir. İnterpolasyon noktaları birbirinden farklı olduğu sürece elde edilen lineer sistemdeki Vandermonde matrisinin determinantı sıfırdan farklı olur ve böylece f_0, \dots, f_n datalarının herhangi bir seçimi için lineer sistemi her zaman tek bir çözüme sahip olur. Ancak, interpolasyon noktaları reel sayı ve bu noktaların sayısı çok küçük olmadığında, Vandermonde matrisi genelde kötü durumdadır ve böylece oluşan lineer denklem sisteminin çözümünde hatalı sonuç elde edilmesi muhtemeldir.

İnterpolasyon polinomunun hesaplanması için, problemin ifadesinin iyi durumda olması nümerik açıdan arzu edilen bir durumdur. Bu bağlamda, interpolasyon noktalarının dağılımı hem elde edilecek yaklaşımın kalitesi hem de bu yaklaşımın nümerik olarak hesaplanmasında çok önemli bir role sahiptir [7]. Bunu göstermek için, interpolasyonda eşit aralıklı noktaları ve noktalarının dağılımı eşit aralıklı olmaktan epey uzak olan Chebyshev noktalarını ele almak yeterlidir. Eşit aralıklı noktalar kullanıldığında, sürekli fonksiyonların çoğu için interpolasyon polinomu düzgün yakınsamaz. Buna standart örnek olarak, $[-1, 1]$ aralığında $f(x) = (25x^2 + 1)^{-1}$ Runge fonksiyonunun polinom interpolasyonu verilmektedir. Bu fonksiyon için interpolasyon polinomu eşit aralıklı noktalar kullanılarak oluşturuluyorsa, interpolasyon aralığının sınırlarına doğru gidildikçe çok büyük salınımlar görülecek ve böylece interpolasyon polinomu Runge fonksiyonuna yakınsamayacaktır [10]. Bu durum Runge olgusu olarak adlandırılır. Burada sorunun kaynağı; Runge fonksiyonunun her reel x değişkeni için analitik olması sebebiyle sorunsuz görünmesine rağmen, kompleks düzlemin sanal ekseninde ($x = \pm \pi i/5$ 'te) bir tekil komşuluğa sahip olmasıdır. Eşit aralıklı noktalarda interpolasyon için bir başka sorun problemin kötü durumlu olmasıdır. Örneğin; $[-1, 1]$ aralığında eşit aralıklı noktalar kullanılarak, $f(x) = e^x$ gibi bir tekil komşuluğu bulunmayan ve aralığın her yerinde analitik olan fonksiyon için oluşturulan interpolasyon polinomu, bu fonksiyonuna teorikte yakınsaması gerekirken pratikte bilgisayarda nümerik olarak interpolasyon polinomu hesaplanırken oluşacak yuvarlama hataları problemin eşit aralıklı noktalarda kötü durumlu olması sebebiyle $n \rightarrow \infty$ iken yakınsak sonuç elde edilmesine engel olacaktır.

Buna karşın, interpolasyon aralığının sınırlarına doğru gittikçe, önemli ölçüde fazla interpolasyon noktasına sahip olan Chebyshev noktalarında durum tamamen farklıdır. Örneğin, Runge fonksiyonu için Chebyshev noktalarında interpolasyon polinomu geometrik olarak yakınsar ve problem iyi durumdadır. Dahası tüm analitik fonksiyonlar için bu durum geçerlidir. İnterpolasyon polinomunun eşit aralıklı noktalardaki davranışları ile Chebyshev noktalarındaki davranışları kıyaslandığında çok farklı sonuçlar vermesinin temel sebebi noktaların dağılımıdır. Dolayısıyla iyi sonuç elde etmek için izlenecek yol, polinom interpolasyonunda asimtotik olarak Chebyshev noktalarının dağılımını takip eden noktalar kümesinin kullanılmasıdır [11].

Ancak pek çok bilimsel araştırmada veriler genelde eşit aralıklı noktalarda elde edilir. Örneğin bir deney veya gözlemlerde ölçümler genellikle eşit aralıklı olacak şekilde yapılır. Bu eşit aralıklı verileri kullanarak basit ve kullanışlı olan polinom interpolasyonu ile bir yaklaşım elde edilmek istendiğinde; hem Runge olgusundan kaçınmak hem de Chebyshev noktalarının kullanılmasına benzer şekilde iyi bir sonuç elde etmek için, takip edilebilecek en iyi stratejilerden biri son zamanlarda geliştirilen mock-Chebyshev noktalarını kullanmaktır [1, 2]. Eşit aralıklı noktaların genişçe bir kümesinden seçilerek elde edilen bu noktalar asimptotik olarak Chebyshev noktalarının dağılımını

takip ederler. Ancak bu noktaların hesaplanması için gereken işlem yükü fazladır ve bu konuda literatürde yeteri kadar çalışma yoktur. Fakat $[-1, 1]$ aralığında eşit aralıklı noktaların sayısının serbestçe seçilebildiği durumda, mock-Chebyshev noktalarını hesaplayan hızlı bir algoritma yakın zamanda yayınlanan [8] makalesinde verilmiştir. Bu sonuçtan hareketle, çalışma aralığını reel ekseninde $[a, b]$ aralığına genişleten bir algoritma bu çalışmada önerilmiştir. Bu algoritma ile elde edilen noktaların performansını test etmek için, bu noktalar polinom interpolasyonunda kullanılmıştır. Bunun için Kovid-19 vakalarını ara günlerde tahmin eden interpolasyon polinomu Vandermonde matrisi kullanılarak elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, eşit aralıklı noktalar kullanılması durumunda elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

2. Polinom İnterpolasyonu

2.1. Vandermonde Sistemi

Birbirinden farklı $x_0, \dots, x_n \in [a, b] \subset \mathbb{R}$ noktaları (veya nodları) ve bu noktalardaki f_0, \dots, f_n verileri (veya fonksiyon değerleri) kullanılarak,

$$p_n(x) = \sum_{i=0}^n a_i x^i \quad (1)$$

olacak şekilde

$$p_n(x_j) = f_j, \quad j = 0, \dots, n \quad (2)$$

interpolasyon şartlarını sağlayan, derecesi en fazla n olan tek bir interpolasyon polinomu vardır. Bu $p(x)$ polinomunun a_0, \dots, a_n katsayıları

$$\begin{bmatrix} 1 & x_0 & x_0^2 & \cdots & x_0^n \\ 1 & x_1 & x_1^2 & \cdots & x_1^n \\ 1 & x_2 & x_2^2 & \cdots & x_2^n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_n & x_n^2 & \cdots & x_n^n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_0 \\ f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_n \end{bmatrix} \quad (3)$$

şeklinde Vandermonde sistemi olarak adlandırılan ve $V\mathbf{a} = \mathbf{f}$ şeklinde gösterilecek $n+1$ boyutlu bir lineer denklem sisteminin çözümü ile hesaplanabilir. Burada oluşan $(n+1) \times (n+1)$ boyutundaki kare matris katsayılar matrisidir. Bu katsayılar matrisine Vandermonde matrisi denir ve aşağıdaki şekilde gösterilir:

$$V = V_n(x_0, \dots, x_n) = \begin{bmatrix} 1 & x_0 & x_0^2 & \cdots & x_0^n \\ 1 & x_1 & x_1^2 & \cdots & x_1^n \\ 1 & x_2 & x_2^2 & \cdots & x_2^n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_n & x_n^2 & \cdots & x_n^n \end{bmatrix} \quad (4)$$

Burada oluşan $V\mathbf{a} = \mathbf{f}$ lineer denklem sistemi ancak ve ancak $\det V \neq 0$ ise tek bir çözüme sahiptir. Birbirinden farklı x_0, x_1, \dots, x_n sayıları için Vandermonde matrisinin determinanı

$$\det V_n(x_0, \dots, x_n) = \det \begin{bmatrix} 1 & x_0 & x_0^2 & \cdots & x_0^n \\ 1 & x_1 & x_1^2 & \cdots & x_1^n \\ 1 & x_2 & x_2^2 & \cdots & x_2^n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_n & x_n^2 & \cdots & x_n^n \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$= \prod_{0 \leq j < i \leq n} (x_i - x_j)$$

eşitliğini sağlar. Burada, x_0, x_1, \dots, x_n sayıları birbirinden farklı olduğu sürece $\det V \neq 0$ olduğu aşikardır. Böylece, f_0, \dots, f_n datalarının herhangi bir seçimi için $V\mathbf{a} = \mathbf{f}$ lineer denklem sisteminin her zaman tek bir çözümü vardır.

2.2. Polinom İnterpolasyonunda Hatanın Sınırları

Birbirinden farklı $x_0, x_1, \dots, x_n \in [a, b]$ noktalarında bir $f(x)$ fonksiyonunu interpolate eden ve derecesi en fazla n olan interpolasyon polinomu $p_n(x)$ olsun. Bu durumda, $f(x) \in C^{(n+1)}([a, b])$ ise, oluşan hata

$$f(x) - p_n(x) = \frac{f^{(n+1)}(\xi_x)}{(n+1)!} \prod_{j=0}^n (x - x_j) \quad (6)$$

şeklinde ifade edilir. Burada, $\xi_x \in (x_0, x_n)$ bir sayı,

$f^{(n+1)}(\xi_x)$ ise $f(x)$ fonksiyonunun $(n+1)$ -inci mertebeden türevinin bu sayıdaki değeridir. Fakat, genelde ξ_x sayısı tam olarak bilinmez ve bu durumda hata hakkında bir tahmin yapılmasını sağlayan aşağıdaki hata formülü önemlidir [3]:

$$\max_{x \in [a, b]} |f(x) - p_n(x)| \leq \max_{x \in [a, b]} \left(\frac{|f^{(n+1)}(x)|}{(n+1)!} \right) \max_{x \in [a, b]} \prod_{j=0}^n |x - x_j| \quad (7)$$

Burada, $f(x)$ fonksiyonu problem tarafından sabitlenmiş olduğundan, hatanın üst sınırı üzerinde meydan gelebilecek herhangi bir etki; Denklem (6)'daki Cauchy hata çarpanı olarak

adlandırılan $Q(x) = \prod_{j=0}^n (x - x_j)$ ifadesinden dolayı, sadece

x_j noktalarının seçimine bağlı olacaktır. İnterpolasyon noktaları $(n+1)$ -inci dereceden Chebyshev polinomunun kökleri olacak

şekilde seçilirse, $\max_{x \in [-1,1]} \prod_{j=0}^n |x - x_j|$ ifadesi minimum olur ve bu

değer $\frac{1}{2^n}$ 'dir [3]. Bu noktalara Chebyshev noktaları denir ve

$$x_j = \cos\left(\frac{2j+1}{2n+2}\pi\right), j = 0, \dots, n \quad (8)$$

şeklinde tanımlanırlar. Cauchy hata çarpanının mutlak değerinin

maksimum değerini $\frac{1}{2^{n-1}}$ ile minimuma yakın yapan bir başka

noktalar kümesi ise, Chebyshev polinomunun ekstremumları olarak adlandırılan ve tanım aralığının uç noktaları olan ± 1 sayılarını içermeleriyle Chebyshev noktalarından ayrışan Chebyshev-Lobatto noktalarıdır ve bu noktalar aşağıdaki şekilde tanımlanırlar:

$$x_j = \cos\left(\frac{j}{n}\pi\right), j = 0, \dots, n. \quad (9)$$

Eğer noktalar eşit aralıklı olarak,

$$x_j = -1 + \frac{2j}{n}, j = 0, \dots, n \quad (10)$$

şeklinde seçilirse, Chebyshev-Lobatto noktalarının aksine,

$\max_{x \in [-1,1]} |Q(x)|$ ifadesi $\frac{(2n)!}{2^n n^{n+1} n!}$ gibi büyük değerli alt sınırı ile,

tahmin edilebileceği gibi, kötü sonuç verecektir. Bu duruma standart örnek olarak, $[-1,1]$ aralığında eşit aralıklı noktalarda

Runge fonksiyonu $f(x) = \frac{1}{1+(5x)^2}$ 'nin polinom

interpolasyonu verilir.

2.3. Vandermonde Sisteminin Nümerik Durumu

Uygulamalı matematik ve nümerik analizde pek çok problem, bir lineer denklem sistemine indirgenerek çözülebilir. Gerek verilerin elde edilmesi esnasında yapılan ölçme hataları gerekse çözüm esnasında yapılan yuvarlama hataları sebebiyle, problemin modellenmesi sonucu oluşan lineer denklem sisteminin çözümünde hatalı sonuç elde edilmesi muhtemeldir. Polinom interpolasyonunda, bu hataların $V\mathbf{a} = \mathbf{f}$ denklem sisteminin çözümü üzerindeki etkisi $\|V\|$ uygun bir matris normu olmak üzere,

$$\kappa(V) = \|V\| \|V^{-1}\| \quad (11)$$

durum sayısı ile aşağıdaki gibi tahmin edilebilir [9]:

1) $V\mathbf{a} = \mathbf{f}$ lineer denklem sisteminin sağ taraf değerlerinde (\mathbf{f} vektöründe) küçük hatalar sonucu oluşan yeni sistem $V\tilde{\mathbf{a}} = \tilde{\mathbf{f}}$ olsun. Bu durumda,

$$\frac{\|\mathbf{a} - \tilde{\mathbf{a}}\|}{\|\mathbf{a}\|} \leq \kappa(V) \frac{\|\mathbf{f} - \tilde{\mathbf{f}}\|}{\|\mathbf{f}\|} \quad (12)$$

eşitsizliği elde edilir. Bu da, katsayılar vektörü \mathbf{a} 'daki bağlı hatanın, f_0, f_1, \dots, f_n verilerinin oluşturduğu \mathbf{f} vektöründeki bağlı hatanın $\kappa(V)$ katından daha fazla olamayacağını gösterir.

Ayrıca, eğer $\kappa(V)$ durum sayısı küçük ise, \mathbf{f} vektöründe yapılacak küçük değişikliklerin \mathbf{a} vektöründe de küçük değişikliklere yol açacağını ifade eder.

2) $V\mathbf{a} = \mathbf{f}$ lineer denklem sisteminin katsayılar matrisinde (V de) küçük hatalar sonucu oluşan yeni sistem $\tilde{V}\tilde{\mathbf{a}} = \mathbf{f}$ olsun. Bu durumda,

$$\frac{\|\mathbf{a} - \tilde{\mathbf{a}}\|}{\|\mathbf{a}\|} \leq \kappa(V) \frac{\|V - \tilde{V}\|}{\|V\|} \quad (13)$$

eşitsizliği elde edilir. Bu da, katsayılar matrisi V deki bağlı hatanın $\kappa(V)$ katının, katsayılar vektörü \mathbf{a} 'daki bağlı hata için bir üst sınır olduğunu gösterir.

Kullanılan normdan bağımsız olarak durum sayısı minimum 1'dir. Bu özellikteki matrise mükemmel durumlu matris denir.

Eğer, durum sayısı $\kappa(V)$ büyük ise (veya hızlı bir şekilde büyüyorsa), $V\mathbf{a} = \mathbf{f}$ lineer denklem sisteminde katsayılar matrisi V 'de veya denklemin sağ tarafı olan \mathbf{f} 'de yapılan küçük değişiklikler, sonuç matrisi olan \mathbf{a} 'da çok büyük değişikliğe sebep olur. Bu durumda, matris **kötü durumda** olarak adlandırılır. Bunun tersi olarak, V 'nin durum sayısı $\kappa(V)$ küçük ise (veya yavaş bir şekilde büyüyorsa), bu takdirde matris **iyi durumda** olarak adlandırılır.

$A = [a_{ij}]_{n \times n}$ matrisi için burada kullanılan değişik matris normları aşağıdaki gibi tanımlanır:

- (I) $\|A\|_1 = \max_{1 \leq j \leq n} \sum_{i=1}^n |a_{ij}|$, A matrisinin sütun normudur ve her bir sütunun elemanlarının mutlak değerlerinin ayrı ayrı toplamlarının maksimum değerine eşittir.
- (II) $\|A\|_\infty = \max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n |a_{ij}|$, A matrisinin satır normudur ve her bir satırın elemanlarının mutlak değerlerinin ayrı ayrı toplamlarının maksimum değerine eşittir.
- (III) $\|A\|_F = \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |a_{ij}|^2 \right)^{1/2}$, A matrisinin *Frobenius* normudur ve matrisin tüm elemanlarının mutlak değerlerinin kareleri toplamının kareköküne eşittir.
- (IV) $\|A\|_2 = \sqrt{\rho_{\max}(A^T A)}$, A matrisinin spektral normudur ve $A^T A$ matrisinin en büyük öz değerinin kareköküne eşittir.

2.3.1. Vandermonde Matrisinin Durum Sayısı

Vandermonde matrisinin, x_0, x_1, \dots, x_n noktalarında ve p -normuna göre ($p = 1, 2, \infty, \text{Frobenius}$) durum sayısını,

$$\begin{aligned} \kappa_p(V_n) &:= \kappa_p(V_n; x_0, \dots, x_n) \\ &= \left\| V_n(x_0, \dots, x_n) \right\|_p \left\| V_n^{-1}(x_0, \dots, x_n) \right\|_p \end{aligned} \quad (14)$$

şeklinde gösterelim. Durum sayısı $\kappa_p(V_n)$ 'nin x_j noktalarına ve kullanılan norma bağlı olduğu açıktır. Ancak, matris normları arasındaki bağıntılardan, $\kappa_\alpha(\cdot)$ ve $\kappa_\beta(\cdot)$ iki farklı matris normundaki durum sayılarını göstermek üzere, c_1 ve c_2 sabitleri kullanılarak

$$c_1 \kappa_\alpha(A) \leq \kappa_\beta(A) \leq c_2 \kappa_\alpha(A), \quad A \in \mathbb{R}^{n \times n}, \quad (15)$$

eşitsizliği yazılabilir. Örneğin, $\kappa_1(\cdot)$ ve $\kappa_\infty(\cdot)$ için

$$\frac{1}{n^2} \kappa_1(A) \leq \kappa_\infty(A) \leq n^2 \kappa_1(A)$$

eşitsizliği sağlanır. Böylece, A matrisi, herhangi bir matris normunda kötü durumda ise yukarıdaki c_1 ve c_2 sabitleri ölçüsünde diğer bir matris normunda da kötü durumda olur.

Vandermonde matrisinin durum sayısı, x_0, x_1, \dots, x_n reel sayıları için n ye bağlı olarak üstel olarak artar ve bu üstel büyüme kötü durumda bir matris olduğunu gösterir. Bunun en büyük sebebi, Vandermonde matrisini oluşturan monomial bazlardır. Çünkü yüksek dereceden n -inci monomialler birbirlerinden daha az ayırt edilebilir durumdadır. Bu ise, Vandermonde matrisinin sütunlarını neredeyse lineer bağımlı hale getirir. Gautschi [4] tarafından $[-1, 1]$ aralığındaki reel sayılar için Vandermonde matrisinin sütun normundaki durum sayısının üst sınırının matrisin tersi bulunmadan

$$\kappa_1(V_n) \leq \lim_{0 \leq i \leq n} \sum_{j=0}^n x_j^i \lim_{0 \leq i \leq n} \sum_{j=0, j \neq i}^n \frac{1 + |x_j|}{|x_i - x_j|} \quad (16)$$

şeklinde hesaplanabileceği gösterilmiştir. Dahası, eğer aralık $[-1, 0]$ veya $[0, 1]$ şeklinde ise (16) eşitsizliğinin eşitliğe dönüşeceği ve böylece durum sayısının doğrudan hesaplanabileceğini göstermiştir. Bunlara ilaveten, değişik nokta kümeleri için sütun normundaki durum sayısının büyüme formülleri Gautschi tarafından elde edilmiştir. Bunlardan bazıları aşağıdaki gibidir [5]:

$[-1, 1]$ reel Chebyshev noktaları için,

$$\kappa_1(V_n) \sim \frac{3^4}{4} (1 + \sqrt{2})^{n+1}, \quad n \rightarrow \infty, \quad (17)$$

ve $[-1, 1]$ reel aralığındaki eşit aralıklı noktalar için,

$$\kappa_1(V_n) \sim \frac{\sqrt{2}}{\pi} \left(e^{\frac{\pi}{4}} \sqrt{2} \right)^n, \quad n \rightarrow \infty. \quad (18)$$

Ayrıca, polinom interpolasyon probleminin ortonormal polinom bazlarıyla ifade edilmesi durumunda elde edilecek Vandermonde benzeri matrisin durum sayısının çok azalacağı ve hatta spektral normda mükemmel durumda bir matris olacağı ilk kez Gautschi [6] tarafından gösterilmiştir. Bu mükemmel

durumluluk, Vandermonde matrisi için reel ekseninde değil, kompleks düzlemde noktaların birim çember üzerinde eşit aralıklı olacak şekilde seçilmesiyle gerçekleşir. interpolasyonu verilir.

2.4. Mock-Chebyshev Noktaları

Polinom interpolasyonunda noktalarının dağılımı (noktaların geometrik yeri) çok önemlidir. Bazı nokta kümeleri ile optimale (en iyiye) yakın yaklaşımlar elde edilirken, bazılarıyla çok kötü (ıraksak) sonuçlar elde edilebilir. Bu bağlamda, interpolasyon aralığının sınırlarına doğru gidildikçe önemli ölçüde fazla noktanın mevcut olduğu ve $[-1,1]$ aralığı için bu noktaların

dağılımının $\frac{n}{\pi\sqrt{1-x^2}}$ yoğunluk fonksiyonuna sahip olduğu

Chebyshev noktalarının interpolasyon noktaları olarak kullanılması tavsiye edilen bir durumdur. Gerek hata formülündeki Cauchy çarpanı gerekse durum sayısı $\kappa_1(V_n)$ 'nin Chebyshev noktalarındaki değerleri ile eşit aralıklı noktalardaki değerleri kıyaslandığında, interpolasyon polinomunda Chebyshev noktalarının kullanılmasının çok daha iyi sonuç vereceği açıktır. Dahası, polinom interpolasyonunda Chebyshev noktaları optimale yakın sonuç verirken, eşit aralıklı noktalar ise Runge olgusundan dolayı analitik fonksiyonlar için dahi ıraksak sonuç verebilmektedir. Fakat bir gözlem veya ölçüm sırasında veriler genelde eşit aralıklı olacak şekilde elde edilir. Bu durumda, eşit aralıklı nokta dağılımının kötü sonuçlarından kaçınmak ve polinom interpolasyonunun hatasını azaltmak için son yıllarda geliştirilen mock-Chebyshev noktaları olarak adlandırılan iyi bir alternatif yöntem vardır. Bu yöntem, polinom interpolasyonunda kullanılacak verilerin eşit aralıklı genişçe bir kümesinden Chebyshev-Lobatto noktalarının dağılımı dikkate alınarak bir alt küme oluşturulmasına dayanır. Fakat bu lokal optimizasyon gerektirdiğinden, $O(n^3)$ mertebeden işlem yükü ile maliyetli bir yöntemdir. Ancak bu işlem yükünü $O(n)$ mertebesine indiren aşağıdaki algoritma, mock-Chebyshev noktalarının elde edilmesinde iyi bir alternatif sunmaktadır.

Algoritma 1: \tilde{X}_n kümesini oluşturma yordamı

girdi $X_n = \left\{ x_j = \frac{1}{2}(a+b) + \frac{1}{2}(a-b)\cos\left(\frac{j\pi}{n}\right), j=0,1,\dots,n \right\}$

$j=1$ den n yedöngü

$|h_j(X_n) \leftarrow x_j - x_{j-1};$

döngü sonu

$h_{\min}(X_n) \leftarrow \min_{1 \leq j \leq n} h_j(X_n);$

$S_0 \leftarrow 0;$

$j=1$ den n yedöngü

$|S_j \leftarrow \left[\frac{h_j(X_n)}{h_{\min}(X_n)} \right] + S_{j-1};$

döngü sonu

$\tilde{h} \leftarrow \frac{b-a}{S_n}; \tilde{x}_0 \leftarrow x_0; \tilde{X}_n \leftarrow \{\tilde{x}_0\};$

$j=1$ den n yedöngü

$| \tilde{x}_j \leftarrow \tilde{x}_0 + S_j \tilde{h};$

$| \tilde{X}_n \leftarrow \tilde{X}_n \cup \{\tilde{x}_j\};$

döngü sonu

çıktı $\tilde{X}_n = \{\tilde{x}_j : j=0,1,\dots,n\}$

3. Sayısal Sonuçlar ve Tartışma

Bu bölümde, *Algoritma 1* ile elde ettiğimiz noktaların performansını ölçmek için 2020 yılında meydana gelen koronavirüs pandemisinden en çok etkilenen ülkelerden biri olan İtalya'nın 18 Mart 2020 ile 23 Nisan 2020 arası Worldometers'in [12] verilerine göre, doğrulanmış günlük koronavirüs vaka sayılarını kullanarak polinom interpolasyonları elde edelim. Bunun için, öncelikle, bu tarihler arasındaki 37 günlük verilerden 10 tanesini seçerek interpolasyon polinomu ile bir yaklaşım elde edip sonra elde ettiğimiz polinom ile kullanmadığımız günlerin verilerini tahmin ederek yapılan hatayı hesaplayalım.

Öncelikle, bu 10 günlük veriyi 37 günlük veri içerisinde 18 Mart 2020 tarihini ilk gün, 23 Nisan 2020 tarihini ise 37-inci gün olarak kabul edip ilk günden başlamak üzere 4'er gün arayla eşit aralıklı olacak şekilde Tablo 1'de olduğu gibi seçelim.

Tablo 1. Verilerin eşit aralıklı olacak şekilde seçilmesi

j	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
x_j	$x_0 = 1$	$x_1 = 5$	$x_2 = 9$	$x_3 = 13$	$x_4 = 17$	$x_5 = 21$	$x_6 = 25$	$x_7 = 29$	$x_8 = 33$	$x_9 = 37$
f_j	4208	5560	6202	4047	4585	3037	4697	2666	3047	2644
Gün	18 Mart	22 Mart	26 Mart	30 Mart	3 Nisan	7 Nisan	11 Nisan	15 Nisan	19 Nisan	23 Nisan

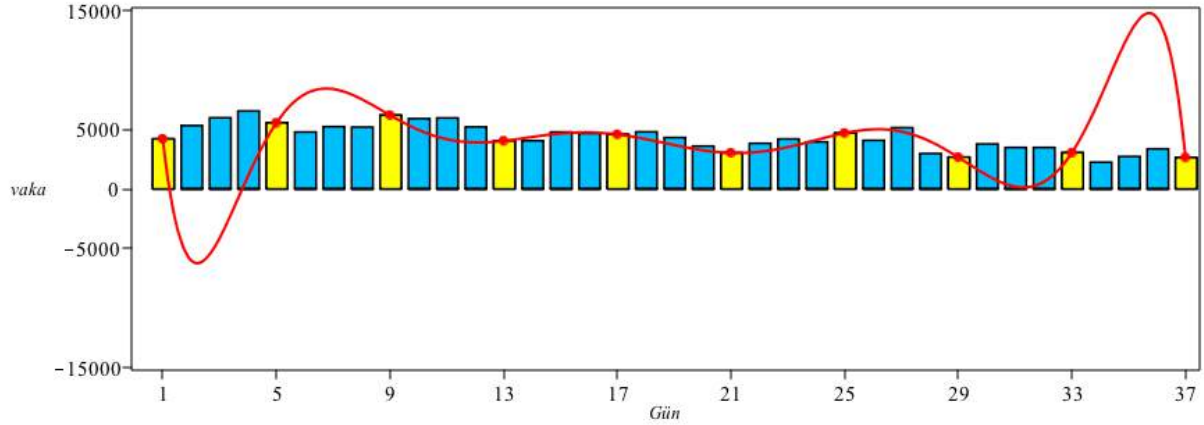
Bu durumda,

$$p_9(x_j) = f_j, \quad j = 0, \dots, 9$$

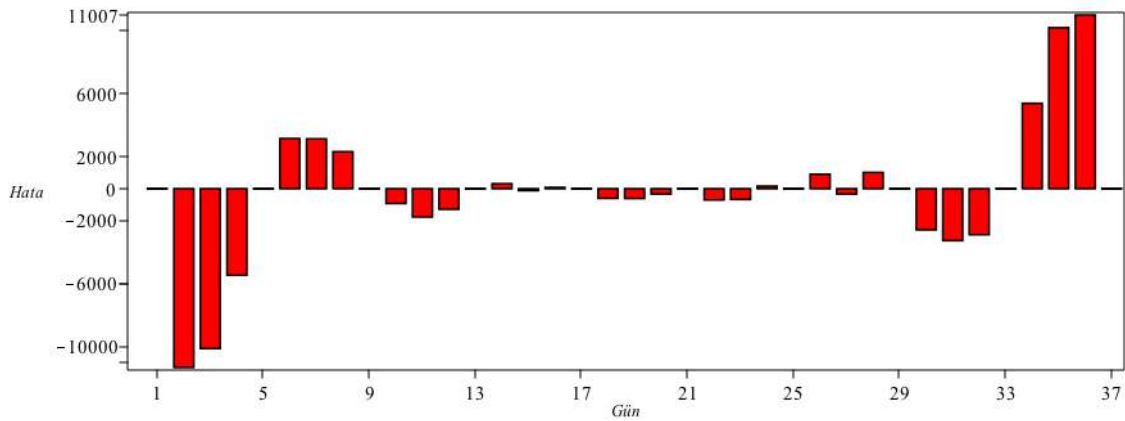
şeklinde interpolasyon şartlarını sağlayan tek bir

$p_9(x) = \sum_{i=0}^9 a_i x^i$ interpolasyon polinomu vardır. Buradaki a_i katsayılarını ise, Denklem (3)'teki gibi oluşacak Vandermonde

sistemini çözerek elde ederiz. Bu durumda elde edilen yaklaşım polinomu (kırmızı eğri) ve seçilen günler (sarı sütunlar) açık bir şekilde Şekil 1'de gösterilmiştir. Runge olgusu sebebiyle, grafiğin başlangıç ve bitiş noktaları arasında oldukça büyük hata sıçramaları olduğu görülmektedir. Bu hataların büyüklüklerini daha net bir şekilde Şekil 2'deki grafikte görmekteyiz. Buna göre, vaka tahmin sayılarının pozitif olduğu günler dikkate alındığında, en büyük hata 36-ıncı günde oluşur. Dahası, gerçekte 3370 olan vaka sayısı bu yaklaşım ile yaklaşık 11007 farkla 14377 olarak hesaplanır.



Şekil 1. 37 günlük vakadan 10 tanesinin eşit aralıklı olarak seçilmesiyle elde edilen interpolasyon polinomu



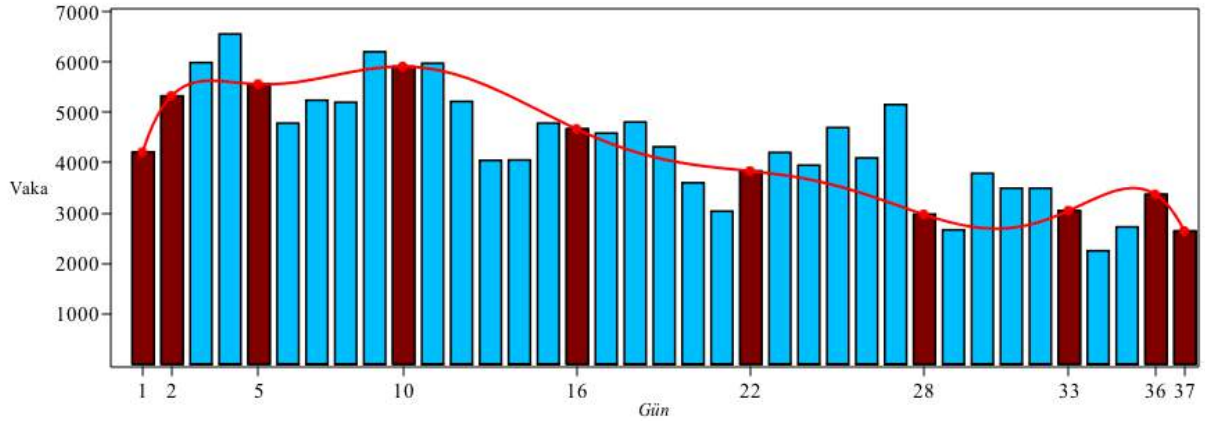
Şekil 2. Interpolasyon polinomu ile elde edilen değerler ile gerçek değerler arasındaki farklar

Elde edilen yaklaşımın hatasını azaltmak için, şimdi ise, 10 günlük veriyi 37 günlük veri içerisinde *Algoritma 1* ile Tablo 2’ de olduğu gibi seçelim.

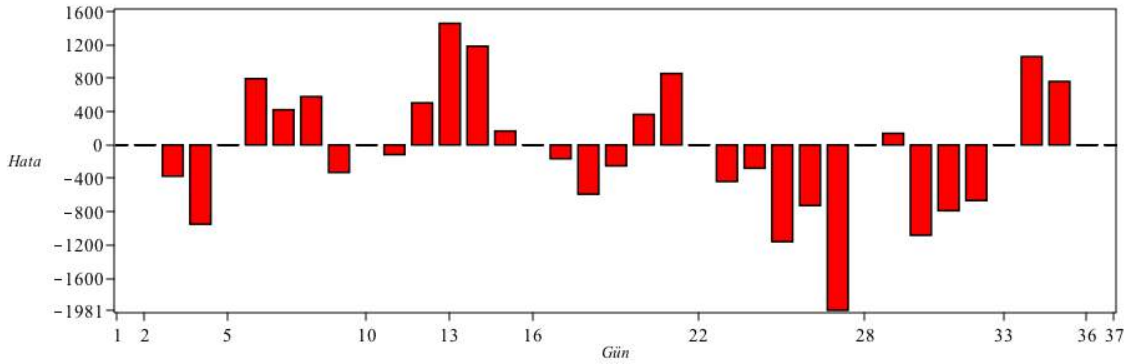
Tablo 2. Verilerin *Algoritma 1* ile seçilmesi

j	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
x_i	$x_0 = 1$	$x_1 = 2$	$x_2 = 5$	$x_3 = 10$	$x_4 = 16$	$x_5 = 22$	$x_6 = 28$	$x_7 = 33$	$x_8 = 36$	$x_9 = 37$
f_i	4208	5324	5560	5907	4669	3834	2973	3047	3370	2644
Gün	18 Mart	19 Mart	22 Mart	27 Mart	2 Nisan	8 Nisan	14 Nisan	19 Nisan	22 Nisan	23 Nisan

Bu durumda, yine toplamda 10 farklı nokta kullandığımızdan dokuzuncu dereceden bir polinom elde ederiz. Seçilen günler ve elde edilen interpolasyon polinomu Şekil 3’teki, oluşan interpolasyon hataları ise Şekil 4’teki gibidir. Bu grafikler incelendiğinde, bir öncekine göre oluşan hatanın büyük ölçüde azaldığı ve tüm vaka tahminlerinin de pozitif sayı olduğu görülür. Dahası, en büyük hatanın 1981 farkla 27-inci günde oluştuğu yani gerçekte 5153 vaka varken bu yaklaşım ile 3172 olarak tahmin edileceği görülür.



Şekil 3. 37 günlük vakadan 10 tanesinin *Algoritma 1*’ e göre seçilmesiyle elde edilen interpolasyon polinomu



Şekil 4. İnterpolasyon polinomu ile elde edilen değerler ile gerçek değerler arasındaki farklar

Başka bir açıdan, bu 37 günlük zaman diliminde her gün değil de sadece 10 gün seçilip bu günlerde test yapılmış ve kalan diğer 27 günlük vakalar ise tahmin edilmek istenseydi, eşit aralıklı gün seçimine göre yapılacak maksimum bağıl hatanın büyüklüğü *Algoritma 1*’ in kullanılması ile elde edilenin yaklaşık 8,5 katı olacaktı. Ayrıca, her iki seçimde de monomial bazlardan dolayı oluşan

Vandermonde matrislerinin durum sayıları yüksek mertebeden olsa da, eşit aralıklı seçimde oluşan durum sayısı *Algoritma 1* ile elde edilenin yaklaşık üç katıdır.

4. Sonuç

Bu çalışmada, polinom interpolasyonda eşit aralıklı noktaların kullanılması durumunda her zaman düzgün bir yaklaşımın elde edilemeyeceği gösterildi. Bu eşit aralıklı noktaların kötü sonuçlarından kaçınmak için önerilen mock-Chebyshev noktalarını $[a, b]$ reel ekseninde hesaplayan hızlı bir algoritma verildi. Bu algoritma ile elde edilen noktalara karşılık gelen günlerdeki veriler kullanılarak, Kovid-19 vakalarını ara günlerde tahmin etmek için Vandermonde matrisi kullanılarak interpolasyon polinomu elde edildi. Bulunan sonuçlar, günlerin eşit aralıklı olacak şekilde seçilmesi durumunda elde edilecek sonuçlar ile karşılaştırıldı. Bu karşılaştırmada, eşit aralıklı günler için çok büyük interpolasyon hatası elde edilirken, önerilen algoritma ile elde edilen günler kullanıldığında ise polinom interpolasyonda optima yakın sonuç veren Chebyshev noktalarına benzer şekilde, bu hatanın oldukça az olduğu görüldü. Ayrıca, verilen algoritma ile elde edilen noktaların kullanılması durumunda Vandermonde matrisinin durum sayısının azaldığı görüldü.

Kaynakça

- [1] Boyd, J. P., & Xu, F. (2009). Divergence (Runge phenomenon) for least-squares polynomial approximation on an equispaced grid and Mock–Chebyshev subset interpolation. *Applied Mathematics and Computation*, 210(1), 158-168.
- [2] Boyd, J. P., & Ong, J. R. (2009). Exponentially-convergent strategies for defeating the Runge phenomenon for the

- approximation of non-periodic functions, Part I: Single-interval schemes, *Commun. Comput. Phys*, 5(2-4), 484-497.
- [3] Davis, P.J., (1963). *Interpolation and Approximation*, Blaisdell Publishing Co. Ginn and Co., New York.
- [4] Gautschi, W. (1962). On inverses of Vandermonde and confluent Vandermonde matrices. *Numerische Mathematik*, 4(1), 117-123.
- [5] Gautschi, W. (1974). Norm estimates for inverses of Vandermonde matrices. *Numerische Mathematik*, 23(4), 337-347.
- [6] Gautschi, W. (1983). The condition of Vandermonde-like matrices involving orthogonal polynomials. *Linear algebra and its applications*, 52, 293-300.
- [7] Ibrahimoglu, B.A., (2016). Lebesgue functions and lebesgue constants in polynomial interpolation, *J. Inequal. Appl.* 2016 (1) 93.
- [8] Ibrahimoglu, B.A., (2020). A fast algorithm for computing the mock-Chebyshev nodes, *J. Comput. Appl. Math.* Vol.373, 112336.
- [9] Meyer, C. D. (2000). *Matrix analysis and applied linear algebra*(Vol. 71). Siam.
- [10] Runge, C. (1901). *Über empirische Funktionen und die Interpolation zwischen aquidistanten Ordinaten*, *Z. Math. Phys.*, 46, 224-243.
- [11] Trefethen, L.N., (2000). *Spectral Methods in MATLAB*, SIAM, Philadelphia.
- [12] <https://www.worldometers.info/coronavirus/country/italy/>



Tarımsal Atıklardan Biyogaz Üretimi İçin Anaerobik Fermentör Tasarımında Etkili Etmenler

Gökhan Türker*

^{1*} Kadir Has Üniversitesi, Doğa Bilimleri ve Mühendislik Fakültesi, Biyoformatik ve Genetik Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8073-5151), gokhan.turker@khas.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 24 Ağustos 2020 ve Kabul Tarihi 14 Aralık 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.784599)

ATIF/REFERENCE: Türker, G. (2021). Tarımsal Atıklardan Biyogaz Üretimi İçin Anaerobik Fermentör Tasarımında Etkili Etmenler. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 181-190.

Öz

Biyogaz üretmek amacıyla, kullanılacak materyalin belirlenmesi süreçlerini iyileştirmek ve hızlandırmak için, bu materyallerin çeşitli ortak özelliklerine uygun fermentör tasarımları gereklidir. Anaerobik fermentasyon işlemi tarımsal biyokütle kullanımındaki en büyük sorun, üretim sistemlerinin farklı olması nedeniyle, materyal boyutları ve bileşimlerinin değişken olmasıdır. Fermentör tasarımı, metan verimini ve anaerobik fermentasyon sürecini etkileyen önemli bir etmendir. Fermentör tasarımı etkili etmenler esas olarak, kullanılacak hammaddenin özellikleri ve işletme değişkenleri olmak üzere iki temel grupta incelenebilir. Ticari ölçekli anaerobik fermentörler, izleme ve kontrol sistemlerinin yetersiz olması nedeniyle, genellikle uygun yükleme oranlarının (OYO) altında çalıştırılmaktadır. Bu durum, metanojenleri etkileyen yüksek oranda uçucu yağ asitleri (UYA) gibi, inhibitör bileşikler oluşturarak, fermentasyon sürecinde kararsızlığa neden olabilir. Fermentörlerin arızalanma oranı, düzensiz akış ve sürekli karıştırılan tip fermentörlerde yüksek düzeylere ulaşmıştır. Fermentörler için uygun çalışma koşullarının sürdürülebilmesi için, otomatik ölçme ve kontrol sistemlerinin kullanılması önemlidir. Bu çalışmada, anaerobik fermentör tasarımı etkili; biyolojik, teknik, ekonomik ve çevresel ölçütler değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyogaz üretimi, Fermentör tasarımı, Tarımsal atıklar

Design Factors for Anaerobic Fermenter in Biogas Production From Agricultural Wastes

Abstract

For biogas production, in order to improve and speed up the process of determining the material to be used, fermenter designs suitable for various common features of these materials are required. The biggest problem in the use of agricultural biomass in the anaerobic fermentation process is that the material sizes and compositions are variable due to the different production systems. Fermenter design is an important factor affecting methane yield and anaerobic fermentation process. Effective factors in fermenter design can be examined in two basic groups, mainly the properties of the raw material to be used and operating variables. Commercial-scale anaerobic fermenters are generally operated below the appropriate loading rates (OLR) due to insufficient monitoring and control systems. This can lead to instability in the fermentation process by creating inhibitory compounds such as highly volatile fatty acids (VFAs) that affect methanogens. The rate of failure has reached high levels in plug flow and continuously stirred type fermenters. It is important to use automatic measurement and control systems to maintain suitable working conditions for fermenters. In this study, biological, technical, economical and environmental factors have been evaluated for fermenter design

Keywords: Biogas production, Fermenter design, Agricultural wastes

* Sorumlu Yazar: Gökhan Türker, ORCID: 0000-0001-8073-5151, gokhan.turker@khas.edu.tr

1. Giriş

Kırsal alanlarda, bitkisel ve hayvansal ürünlerin yoğun olarak üretim sonucunda her yıl bol miktarda kalıntı oluşmaktadır. Bu atıkların bir kısmı kullanılmakla birlikte, artıkların önemli bir bölümü kullanılmamaktadır. Bu atıklar, farklı özelliklere sahiptirler ve dağınık yerlerde kalırlar. Dünyada her yıl büyük miktarlarda ürün kalıntısı üretilmekte ve genellikle açık çevreye dökülmektedir. Bu atıklar genellikle, tahıl ürünleri samanı, pirinç kabuğu, küspe, mısır koçanı, hindistancevizi kabuğu, yer fıstığı ve diğer fındık kabukları ve talaştır. Mısır, buğday, pirinç ve şeker kamışı ürünlerinden her yıl fazla miktarda biyokütle atık oluşur. Bununla birlikte, bu atıkların önemli bir bölümü hayvanlar için yem olarak kullanılır. Bununla birlikte, bu biyokütlenin büyük bir kısmından yararlanılmamakta ve açık alanlarda yakılmaktadır. Çeltik kabuğu ve şeker kamışı küspesi genellikle bir yerde büyük miktarlarda birikir. Çeltik kabuğu en yaygın tarımsal kalıntılar arasındadır. Geniş tarım alanları ile çevrili büyük şehirlerde, açık havada çeltik kabuğu yakılması önemli sorunlar yaratır.

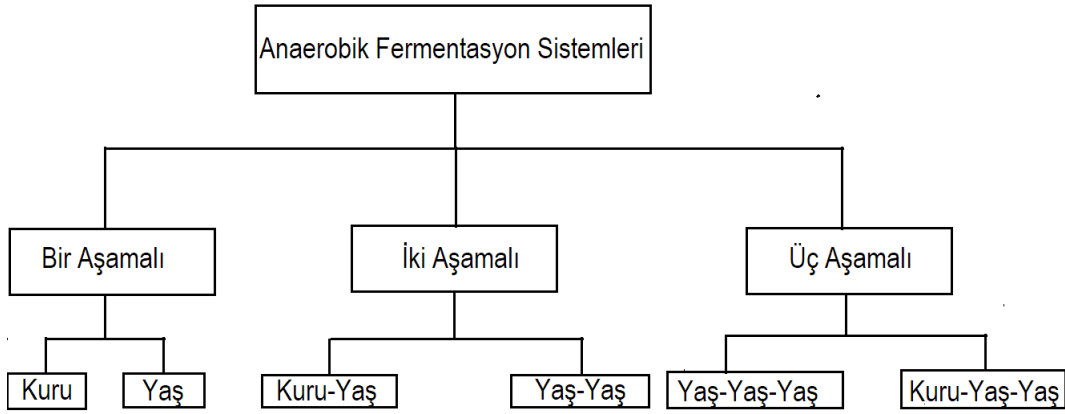
Biyogaz üretimi, 1950'li yıllarda dünya genelinde başlatılmış olsa da, kırsal bölgelerde yaşayan insanlar arasında biyogaz üretim teknolojileri konusunda farkındalık bulunmaması

tasarım yapılacak biyogaz tesislerinin; teknik, ekonomik ve çevresel özellikleri anlatılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Anaerobik Fermentasyon Sistemleri

En basit tasarımdaki bir anaerobik fermentasyon sisteminde, dört fermentasyon aşamasının tamamının gerçekleştiği bir adet fermentör bulunur. Buna tek aşamalı fermentasyon sistemi denir. Bununla birlikte, bilim ve biyoteknolojinin gelişmesiyle birlikte, bilim adamları her fermentasyon aşamasının farklı ve en iyi gelişen koşullara sahip olduğunu bulmuşlardır. Bu nedenle, fermentasyon aşamalarının (çok aşamalı fermentasyon) fiziksel olarak ayrılmasıyla, her bir aşamanın en yüksek dönüşüm verimliliğine ulaşmak için optimize edilmesi amaçlanmıştır. Günümüzde, çok aşamalı fermentasyon sistemleri sadece iki aşamalı ve üç aşamalı sistemleri kapsar. İki aşamalı sistemde, iki farklı fermentörde hidroliz ve metanojeniz aşamaları gerçekleşir. Daha karmaşık olan üç aşamalı sistemde ise, çeşitli fermentörlerde hidroliz, asidojeniz/asetojenez ve metanojeniz aşamaları gerçekleşir. AD sistemleri, Şekil 1'de gösterildiği gibi, kullanılan fermentörün tipine göre (yaş veya kuru) sınıflandırılır.



Şekil 1. Anaerobik fermentasyon sistemlerinin sınıflandırılması

nedeniyle, Hindistan gibi ülkelerde uygulanabilir biyogaz üretimi sağlanamamıştır. Ayrıca, biyogaz üretimi için uygun teknolojilerin azlığı, Hindistan'da biyogaz temelli uygulamaların uygulanmasını sınırlamaktadır. Biyogaz, aynı zamanda pişirme için kullanılan geleneksel yakıtlara kıyasla ucuz bir yakıttır. Mutfak atığı ve sığır gübresi karışımı uygulanabilir gaz üretimi elde etmek için çok önemlidir. Çünkü sığır gübresinin mevcudiyeti, konutlar için biyogaz üretiminin genişlemesindeki ana endişelerden biridir. Çeşitli biyolojik atıkların bileşimi, herhangi bir sistemin genel verimliliğine etki eder. Günlük sabit yükleme hızı, farklı materyallerin dengeli karıştırılması ve hidroliz ve asitleşme fazlarının metanlaşma fazından ayrılması, biyogaz verimini ve kalitesini en üst düzeye çıkaran önemli faktörlerdir.

Organik kökenli atıklar, anaerobik fermentasyon sistemleri kullanılarak, yenilenebilir bir yakıt olarak, metan gazına dönüştürülebilir. Bir tarım işletmesinde günlük faaliyetler sırasında, farklı türde birçok atık açığa çıkar. Bunlar, tarımsal üretimden kaynaklanan sığır gübresi ve mısır sapları gibi ürün kalıntılarında oluşan hayvansal ve bitkisel kökenli sıvı veya katı atıklardır. Bu konuda kapsamlı araştırmalar yapılmaktadır (Eryılmaz ve Ark., 2015; Kocabay, 2019; Zenk, 2019; Kanat ve Ergüven, 2020). Bu çalışmada; tarımsal işletmeler için

2.1.1. Bir Aşamalı Sistemler

- pH değeri: 6,8–7,4
- Hidrolik Bekleme Süresi (HBS) mezofilik sıcaklıkta 30 gün, termofilik sıcaklıkta 20 gün ve psikrofilik sıcaklıkta 50 gün

2.1.1.1. Bir Aşamalı Yaş Sistemler

Yaş fermentör kullanılan tek aşamalı sistemlerdir. Organik yükleme oranlarına (OYO) bağlı olarak iki gruba ayrılırlar (Ramos-Suárez ve Ark., 2015, Turker, 2020):

- 1) Düşük oranlı sistemler (OYO = 0,5–1,6 kgvs/m³gün)
- 2) Yüksek oranlı sistemler (OYO = 1,6–4,8 kgvs/m³gün).

Bazı araştırmalarda, bu tip sistemlerin SAN gibi inhibitörlere karşı duyarlı oldukları belirlenmiştir. Duan ve Ark., (2012) SAN düzeyi > 0,6 mg/L koşulunun, sistem kararlılığını etkileyen en önemli etmen olduğunu belirtmişlerdir. Serbest Amino Nitrojeni (SAN) konsantrasyonu 1,45 g/L düzeyine yükseldiğinde, metan veriminin % 50 oranında azaldığı bildirilmiştir (Nakakubo ve Ark., 2008). Yen ve Brune (2007), SAN 1,7–1,8 g/L aralığına yükseldiğinde sistemin başarısız olabileceğini bildirmişlerdir.

Düşük Hızlı Yaş Sistem: Düşük hızlı yaş sistem en eski ve en basit sistemdir. Başlıca özellikleri şunlardır:

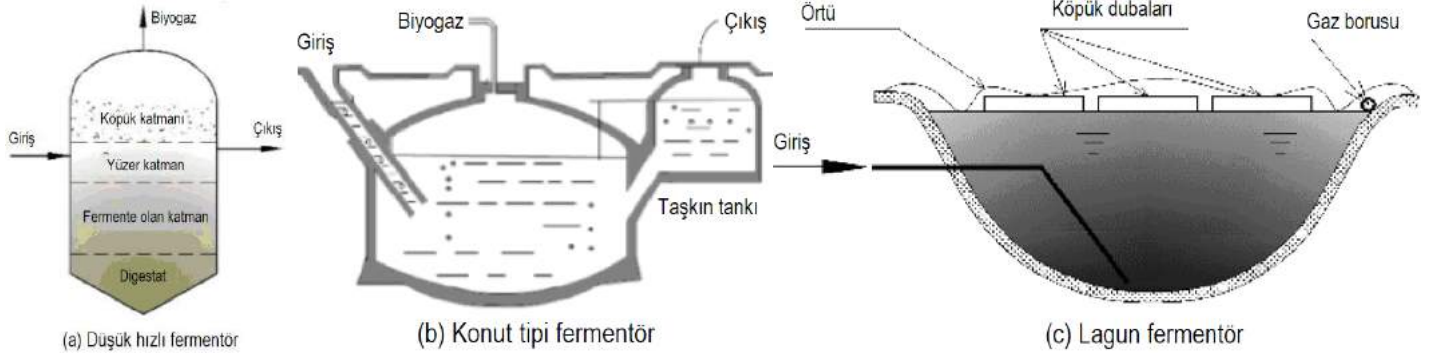
- Bekletme süresi (BS) uzundur (BS=30–60 gün)
- Karıştırma işlemi zayıftır.
- Isıtma uygulanmaz.

Çok basit olan bu sistem, ancak çok düşük verimlilikte olan düşük hızlı sistemler sadece Çin, Hindistan ve Vietnam gibi gelişmekte olan ülkelerde, konut ve çiftlik ölçeğinde kullanılmaktadır. Bu tip sistemlerin çalışma ilkesi Şekil 2 (a)'da gösterilmiştir. Küçük veya büyük ölçekli olması önemli olmadan, dört bölgeli fermentörde her zaman tabakalaşma gerçekleşir:

- 1) Köpük tabakası
- 2) Sıvı tabakası (veya yüzer tabaka)
- 3) Fermente olan katı tabakası
- 4) Fermente olmuş katı tabakası

Bu sistemler arasında, konut ölçeği (Şekil 2 (b)) aynı zamanda yüzer kubbeli fermentörü veya sabit kubbeli fermentör olarak da bilinir. Hacimleri 1–8 m³ aralığında olmasına rağmen, en yaygın kullanılan sistemlerin hacimleri 1–3 m³ aralığındadır. Bu sistemlerde günlük besleme oranı, fermentör hacminin yaklaşık 1/40–1/50 arasındadır (Abbasi ve Ark., 2011). Bir lagün fermentör, (Şekil 2 (c)), çiftlik ölçeğinde aşağıdaki koşullarda çalıştırılır (Tchobanoglous ve Ark., 2003):

- HBS = 30–60 gün aralığında
- ÇY = 50–100 gün aralığında
- TS = % 0,5 ile 5 aralığında



Şekil 2. Bakterilerin asılı büyüdüğü yaş fermentör tasarımları

Yüksek Hızlı Yaş Sistem: Yüksek hızlı yaş sistemler, verimliliklerini artırmak için düşük hızlı fermentörlerden geliştirilmiştir. Hammadde materyali, uygun bir ortam oluşturmak için ısıtılabilir ve karıştırılabilir. Bu durum fermentörün daha az hacim, daha kararlı ve daha verimli olmasını sağlar (Turovskiy ve Mathai, 2006) Yüksek hızlı yaş sistemlerin ilk kuşağı, bir ısı kaynağı tarafından desteklenen piston akışlı yaş fermentörlerdir (WPF). Bu sistem, en çok TS = % 11–14 ve HBS = 15–20 gün arasında olan gübre için uygulanmıştır. Tamamen karıştırılan fermentör (CMR) veya sürekli karıştırılan tank tipindeki fermentör (CSTR) olarak adlandırılan daha karmaşık bir fermentör, iç kısmında karıştırma uygulaması gerektirir (Şekil 3a). Bu sistem genellikle OYO = 1,5–5 kg_{VS}/m³gün ve BS = 15–20 gün arasında mezofilik sıcaklıkta çalışır (Abbasi ve Ark., 2011). CSTR'de, bakteriler atık sıvı ile birlikte fermentörden yıkanır. Daha yüksek OYO düzeyine ulaşmak için, fermentörün içinde daha yüksek bir bakteri konsantrasyonuna gereksinim vardır. Bu nedenle, çıkış suyunun biyokütlesi bir çöktürme

tankından ayrılır ve biyokütle konsantrasyonunun VS = % 5–10 aralığında tutulduğu fermentöre geri pompalanır (Burton ve Stensel, 2014). Anaerobik temas (AC) sistemi (Şekil 5.7b) OFMSW için kullanılır. Bu sistemde taze materyal, TS = % 10–15 düzeyine ulaşmak için su ile karıştırılır. Verimliliğin 100–150 m³biyogaz/ton_{atık} olması ve TS düzeyinin % 50–60 azalması ile OYO = 4–8 kg_{VS}/m³gün düzeyine ulaşabilir (Rappart ve Ark., 2008).

Hammaddenin materyali esas olarak çözünür durumda (veya TS <% 3–5) olduğunda, aşağıdaki fermentörler tasarımları kullanılabilir:

- Yukarı akışlı anaerobik bulamaç yataklı fermentör (UASB)
- Genişletilmiş granül bulamaç yataklı fermentör (EGSB)
- Genişletilmiş yatak fermentör (EB)
- Akışkan yataklı fermentör (FB)
- İç dolaşimli fermentör (IC)
- Anaerobik sabit yataklı fermentör (AFB)

Bu tasarımlardaki fermentörlerin çalışma ilkeleri ve özellikleri önceki bölümlerde açıklanmıştır. Bu tip fermentör tasarımları, endüstriyel atıksu arıtma sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.1.1.2. Bir Aşamalı Kuru Sistemler

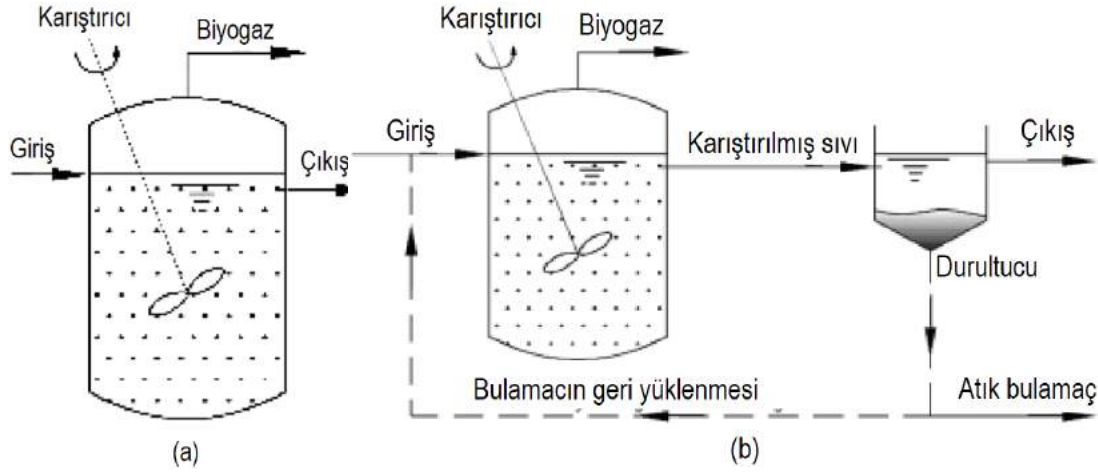
Katı içerikleri fazla olan hammaddeler, yaş fermentasyon sistemlerinde kullanılabilir. Ancak, çok miktarda su ilave edilmesi gerekir. Atık akımının seyreltilmesi sadece daha yüksek su ve enerji tüketimi maliyeti değil, aynı zamanda daha yüksek hacimli

bir fermentör gerektirir. Ayrıca, atıkların seyreltilmesi biyogaz verimini azalmasına ve daha fazla atık su üretilmesine neden olabilir. Bu nedenle, kuru fermentörler katı içeriği yüksek olan atıklar için geliştirilmiştir (Şekil 4). Yaş sistemlere kıyasla kuru sistemlerin çalışması ile ilgili olarak başlıca sorunlar şunlardır:

- Yüksek viskoziteli materyalin karıştırılması
- Yüksek viskoziteli materyalin pompalanması

Teknolojilerin gelişimiyle birlikte, bu tür sorunlar giderek azalmıştır. Günümüzde Avrupa'da Dranco, Valorga, Kompogas ve Biocell firmaları, pilot ölçekli uygulamalar yapan başlıca firmalardır. Genel olarak kuru sistemler, aşağıdaki koşullardaki kararlılıkları nedeniyle yaş sistemlerden daha güçlüdürler:

- Amonyak konsantrasyonu 2,5–3 g/L düzeyine kadar
- UYA= 23–24 g/L aralığında

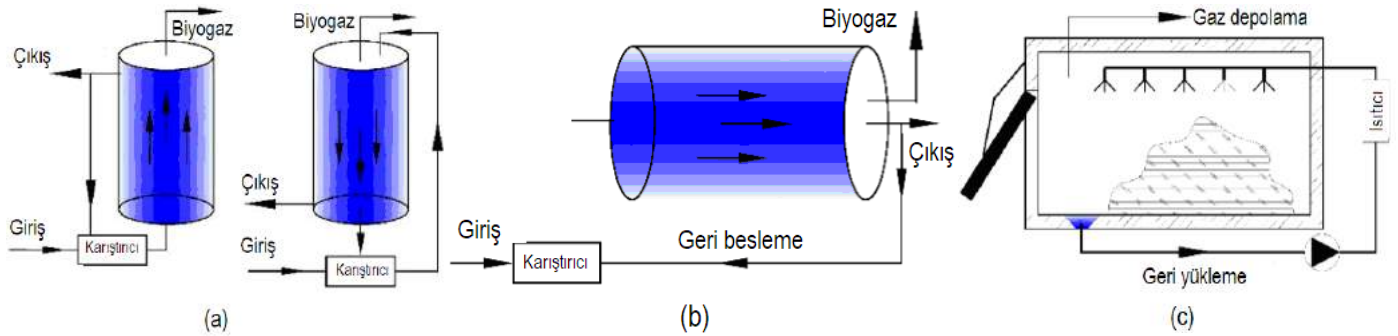


Şekil 3. Karıştırmalı yaş fermentör tasarımları

Dranco sistemi, piston akışlı dikey bir fermentördür (Şekil 4a). Bu sistemde, digestatın bir kısmı karıştırma pompasına geri alınır. Aşılama için 6–8:1 oranında taze materyal (partikül büyüklüğü <4 cm) ile karıştırılır. Bundan sonra, karışım fermentörün üst kısmına yerleştirilir ve aşağı doğru konik bir tabana doğru hareket eder. Burada bir helezon konveyör digestati çıkarır. Digestatın geri kalanı, kompost haline getirilmeden önce, suyu alınır. Fermentör içinde aktif karıştırma yoktur. Bu durumda, eksik fermentasyon nedeniyle, biyogazın % 20–30'u kaybedilebilir (Trzcinski ve David, 2017). Sistemin, TS = % 20–50 arasında değişen katı atıkların fermentasyonunda başarılı olduğu kanıtlanmıştır (Lisseens ve Ark., 2001). OFMSW (TS% 30–45), mezofilik koşullarda HBS = 20 gün işlendiğinde, VS % 55 oranında azalır ve OYO 5–8 kg_{VS}/m³gün arasındadır (Trzcinski ve David, 2017). Termofilik sıcaklıkta 14 gün bekletme süresi ile OYO=15 kg_{VS}/m³ düzeyine çıkabilir ve VS'nin % 65'i yok edilebilir (Rapport ve Ark., 2008). OFMSW fermentasyonu için, alkali katkı maddesi genellikle gereksizdir ve fermentörün içindeki pH düzeyi yaklaşık 8'dir. Her ton atık 120–170 m³ biyogaz (200 kWh enerjiye eşdeğer) üretebilir. Tesis üretilen bu enerjinin % 30–40'ını tüketir ve geri kalanı farklı amaçlar ile kullanılabilir.

termofilik koşullarda (55–60 °C) çalışır. Dijestat, bir helezon götürücü kullanılarak suyu alınır. Daha sonra katı kısım, havalandırılarak 2–3 hafta kompostlaştırılır. Sistem bir ton atıktan yaklaşık 140 m³ biyogaz, 500 kg kompost ve 300 L sıvı gübre üretebilir.

Valorga sisteminde piston akışlı dikey fermentör kullanılır. Hammadde, gelen atık akımı (boyut <30 mm) ile TS değeri % 25–30 aralığında ayarlanmış digestat karışımıdır. TS konsantrasyonu % 20'den az ise, tanecikli parçacıklar hızla dibe çöker ve dolaşan gaz gözeneklerini tıkar. Sistem, VS uzaklaştırma oranı % 50 değeri ile 1 ton atıktan yaklaşık 140 m³ biyogaz üretir (Kayhanian ve Ark., 2007). OFMSW için içerideki pH genellikle 7,8–8 arasındadır. Bu nedenle, alkali katkı maddesi gerekli değildir. pH düzeyi düştüğünde, besleme pompası süreç kendini düzenleyene kadar durmalıdır. Biyogaz ürününün bir kısmı, karıştırma amacıyla ve malzemelerin askıda tutulması için fermentörün tabanına yüksek basınçla (5 bar) geri enjekte edilir. Sistem, genellikle BS=18–23 gün ile mezofilik sıcaklıkta çalıştırılır. Biyogaz verimi 220–270 L/kg_{VS} aralığındadır. Fermentasyon işleminden sonra, dijestat 2–3 hafta sürede kompostlaştırılır.



Şekil 4. Kuru fermentör tasarımları

Kompoz gaz sisteminde, hammaddeden gaz üretimine ve homojenleştirilmesine yardımcı olmak için dâhili rotorlu piston akışlı yatay bir fermentör (Şekil 4 b) kullanılır. Kullanılan hammadde (partikül boyutu <50 mm) sistem akışının düzenlenmesi amacıyla, TS=% 23–28 aralığına ulaşmak için dijestat sıvısı ile karıştırılır. Daha yüksek TS değerlerinde, çok yüksek viskozite nedeniyle, karışımın akışı zordur. Daha düşük TS değerleri fermentörün içinde kum ve cam birikmesine neden olur. Sistem genellikle, HBS = 14–20 gün bekletme süresi ile

Kuru kesikli fermentasyon sistemi (Şekil 4 c), düzenli depolama sahaları örnek alınarak geliştirilmiştir. Bununla birlikte, depolama alanındaki doğal biyo-bozunmadan farklı olarak, kuru kesikli sistemdeki tepkime iki temel faktör tarafından hızlandırılmaktadır. Birincisi, sızıntı suyunun sürekli dolaşımıdır. Yüksek nemli bir ortamın oluşmasına ve inokulum ve substratların yayılmasına olanak sağlar. İkincisi, sistemdeki sıcaklığın optimum aralıkta kontrol edilmesidir. Bunun sonucunda, çöp sahalarında gözlemlenenenden çok daha fazla

biyogaz üretim hızı ve daha düşük BS gerçekleşir. Fermentör, taze materyal ile doldurulur (TS = % 30–40), boşaltılır ve daha sonra yeni bir parti ile doldurulur. Biyogaz üretimi durduğunda, fermentasyon süresi sona erer. Mezofilik sıcaklıkta 20 günden fazla fermentasyondan sonra, dijestat kompostlama için 1–3 hafta boyunca havalandırılır. Sistem, her bir ton atık için; 90 kg biyogaz (% 58 CH₄), 455 kg atık su ve 310 kg kompost üretir (Nayono, 2010). Sürekli kuru sistemlere kıyasla, ekipman maliyetinden % 40 oranında tasarruf edilmesine karşın, inşaat için daha geniş alana ihtiyaç duyulduğundan, kesikli kuru sistemler çok daha düşük uygulama oranına sahiptirler.

2.1.2. İki Aşamalı Sistemler

2.1.2.1. İki Aşamalı Sistemlerin Tasarımı

Hidroliz/asidojeniz ve metanojeniz aşamalarında büyüme özellikleri çok farklıdır. Bu nedenle, iki aşamalı fermentasyon, her fermentasyon aşamasını optimize etmek için geliştirilmiştir. Günümüzde, fermentasyon aşamalarının iki fermentöre ayrılması hakkında iki farklı görüş vardır. İlk görüşte, birinci tankın hidroliz/asidojeniz aşamalarının gerçekleşmesine olanak sağladığı ve ikinci tankın asetojeniz/metanojeniz aşamalarını optimize ettiği kabul edilir. İkinci görüşte, asetojeniz aşamasının birinci fermentörde oluşması ve ikinci fermentörün sadece metanojeniz aşamasını optimize etmesi önerilmektedir. İkinci bakış açısı, asetojeniz aşamasından en yüksek düzeyde hidrojen elde edilmesine yönelik olabilir. Ancak, bu fikir aşağıdaki nedenlerle geçerli değildir (Yu ve Ark., 2013):

- Anaerobik fermentasyon işlemiyle hidrojen üretimi, ticari olarak kalite standartlarını karşılayabilmek için, hidrojen gazını zenginleştirmek amacıyla gereken yüksek maliyet nedeniyle, ekonomik olarak uygun değildir.
- Metanojenler (hidrojen tüketicisi) ve asetojenler (hidrojen üreticisi) yakın işbirliği içinde çalışmalıdır.
- Asetojenler aynı zamanda hassas ve katı anaeroblardır. Fakültatif bakterilerle (hidrolitik/asidojenik mikroorganizma) birlikte çalışmamalıdır. Aslında, fermentasyon aşamalarının kesin bir şekilde ayrılmasını sağlamak çok zordur. Bu nedenle, asetojeniz her iki fermentörde de çoğunlukla ikincisinde meydana gelebilir.

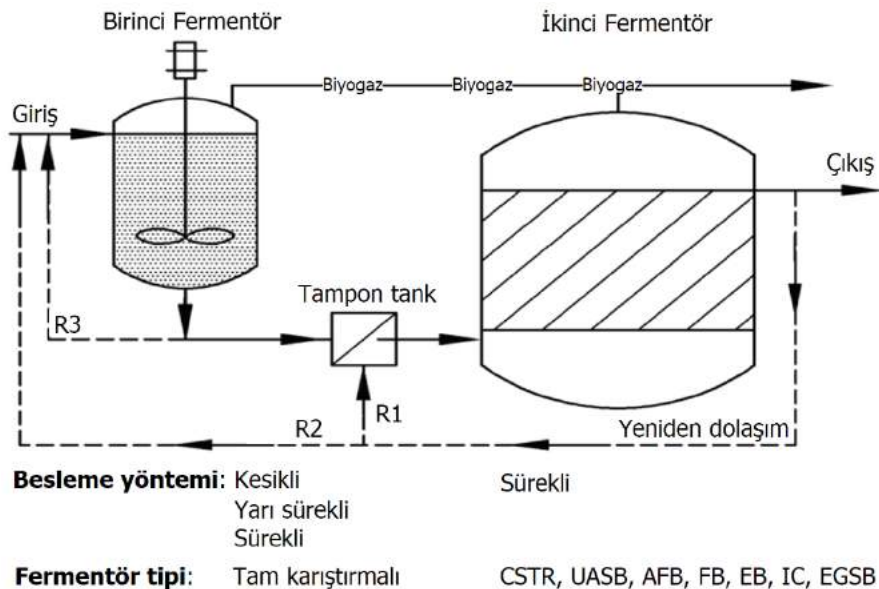
İki aşamalı sistemlerin çalışma şeması Şekil 5’de gösterilmiştir. İki fermentör arasındaki farklı çevresel koşullar nedeniyle, hidrolize edilemeyen materyallerin uzaklaştırılması, pH’nın kontrol edilmesi ve hatta organik konsantrasyonun kontrol edilmesi gibi birçok amaç için, Şekil 5’de gösterilen iki fermentör arasına genellikle bir tampon tank yerleştirilir. İki aşamalı sistemde, gerektiğinde bir, iki veya üç su dolaşım döngüsü (Şekil 5’de R1, R2 ve R3 ile gösterilen) kullanılabilir. Bu dolaşım döngülerinin kullanılması durumunda sağlanan yararlar şunlardır:

- ✓ İkinci fermentörde yüksek alkaliniteli atıksu kullanılması nedeniyle asitlik azaltılarak, pH daha fazla kontrol edilir.
- ✓ Katı içeriği yüksek besleme materyali karıştırılır ve seyreltilir.
- ✓ Bakterilerin aktiviteleri iyileştirilir.

Bununla birlikte, inhibitörler fermentörlerde birikir ve uzun süre kullanılması nedeniyle, sistemin kararsız duruma gelmesine neden olursa, gelen substrat tatlı su ile seyreltilmelidir. Hidrolizden sonra, hammaddenin katı içeriği önemli ölçüde azalır. Bu nedenle, iki aşamalı sistem kuru-yaş tasarım (birinci fermentörde yüksek katı ve ikinci fermentörde düşük katı) veya yaş-yaş tasarım (her iki kademe düşük katı) olabilir. Hidroliz/asidojeniz için genellikle bir CSTR kullanılır. Metanojeniz aşaması için, CSTR, UASB, AFB, FB, EB, IC ve EGSB dahil olmak üzere yüksek hızlı yaş fermentörler kullanılır.

2.1.2.2. Hidrolitik/Asidojenik Fermentör

Bu fermentörün işlevi, inhibe edilmekten ve aşırı yüklenmeden kaçınarak, materyali UYA’lara mümkün olduğunca hızlı bir şekilde dönüştürmektir. Bu nedenle; pH, sıcaklık, asit konsantrasyonu, besinler ve substrat konsantrasyonunu (TS) gibi birçok çalışma koşulu kontrol edilmelidir. OFMSW gibi katı içeriği yüksek atıklar için, atık akımı fermentöre verilmeden önce parçacık boyutunu (<15 mm) küçültmek için parçalanmalıdır. Hidroliz/asidojeniz genellikle karıştırma tanklarında yeterince hızlı ilerler. Bu nedenle hidroliz/asidojeniz için başka bir fermentör geliştirilmemiştir. Karıştırılan fermentörler arasında CSTR’ler yaygın olarak, piston akışlı yaş fermentör ise bazı durumlarda kullanılır.



Şekil 5. İki aşamalı fermentasyon sistemlerinin akış şeması

Toplam Katı Madde: Katı içerikleri yüksek olan hammaddelerin hidrolize edilmesi, fermentörün daha yüksek kapasitede çalışmasını sağlar. Isıtma için daha az enerji ve daha az su tüketimi gerektirir. Bununla birlikte, çok yüksek bir katı içeriği, karışımların viskozitesinin yüksek olmasına neden olabilir. Bu durum, yetersiz karıştırmaya veya karıştırma işleminin çok fazla enerji tüketmesine neden olabilir. Ayrıca, katı içeriğinin (% 5–40 aralığında) artması inhibitörlerin ve çözünmeyen katı içeriğinin artmasına neden olur. Bu durum, hidrolitik dönüşüm oranının azalmasına neden olur. Ayrıca, yüksek katı madde konsantrasyonu (TS>% 15) normalden çok daha uzun bekleme süresi (BS=10–15 gün) gerektirir (Ostrem, 2004). Bu nedenle, karıştırılan tip bir fermentör kullanılması durumunda, hidroliz/asidojeniz aşaması için hammaddede TS içeriğinin % 15–20 aralığında olması, genellikle üst sınır olarak kabul edilir (Rosgaard ve Ark., 2007).

pH Değeri: Moestedt ve Ark., (2016) 4,5'in altındaki pH değerinin hidrolitik/asidojenik fermentörde 15 güne kadar HBS gerektirdiğini bildirmiştir. pH değeri 4'ten 5,5 değerine yükseltildiğinde, materyalin çözünürlüğü ve asitleşmesi önemli ölçüde artar (Yu ve Fang, 2002). Alkali koşullar altında, Zhang ve Ark., (2005) pH değeri 7'den 11'e yükseldiğinde, UYA oluşumunun önemli ölçüde azaldığını bildirmişlerdir. pH > 10 olması durumu, mikroorganizmaların aktivitesinde geri dönüşü olmayan bir kayba neden olmaktadır (Deublein ve Steinhäuser, 2011). pH değerlerinin 5,5 ve 6,5 arasında olması, çoğu zaman en uygun aralık olarak belirtilmiştir ve en uygun pH değerleri 6,0'dır (Lindner ve Ark., 2015). Bu pH değerleri, her hidroliz ve asidojeniz aşaması için kabul edilebilir.

Sıcaklık: Birçok araştırmada, hidrolitik/asidojenik oranın sıcaklık artışıyla orantılı olarak arttığı belirlenmiştir. Ayrıca, mezofilik koşullara kıyasla, termofilik koşullar fermentör ve çevre üzerinde ciddi bir etkisi olabilecek patojenlerin zarar görmelerini artırır (Kim ve Ark., 2003). Bu nedenle, termofilik sıcaklık mezofilik sıcaklıktan daha iyi görünmektedir. Bununla birlikte, Kozuchowska ve Evison (1995), mezofilik işlemlerin kahve atıklarının asitleştirilmesinde termofilik işlemde daha kararlı bir koşul sağladığını bildirmişlerdir. Komemoto ve Ark., (2009), gıda atıklarının çözünürlük oranının, mezofilik koşullarda diğerlerinden önemli ölçüde daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Bu nedenle, enerji ve verimlilik ile ilgili olarak, organik atığın hidroliz/asidojeniz aşamaları için 35–37 °C aralığındaki mezofilik sıcaklık tercih edilir.

Bekletme Süresi: Bu fermentördeki bekleme süresi, sadece çevresel koşullara değil, aynı zamanda atık özelliklerine de bağlıdır. OFMSW'nin (TS = % 8,2) hidroliz/asidojeniz aşaması için, mezofilik sıcaklıkta bekleme süresinin 2–5 gün aralığında olması önerilmektedir (Pavan ve Ark., 2000). Gıda atığı için mezofilik sıcaklıkta bir günlük bekleme süresinin çok uygun olduğu bildirilmiştir (Paudel ve Ark., 2017) Tarımsal endüstriyel atık su için, BS = 0,75 gün bekleme süresinde asidojeniz verimliliği en yüksek düzeye ulaşmıştır (Dareioti ve Kornaros, 2014). Genel olarak, mezofilik sıcaklıkta katı içerikleri yüksek olan materyaller için 2-5 gün arasındaki bekleme süresinin kullanılması tercih edilir (Turovskiy ve Mathai, 2006, Akyol ve Ark., 2016). Fermentörün kesikli olarak çalıştırılması durumunda, BS = 7–12 gün arasında olmalıdır (Yu ve Ark., 2006).

Besin Maddeleri: Hidroliz/asidojeniz aşaması için, besin maddesi ve iz element gereksinimleri konusunda az sayıda araştırma yapılmıştır. Deublein ve Steinhäuser (2011),

hidroliz/asidojeniz aşaması için C/N oranının 10–40 aralığında olması gerektiğini bildirmişlerdir.

2.1.2.3. Metanojenik/Asetojenik Fermentör

Metanojeniz/asetojeniz aşamasında genellikle CSTR, UASB, AFB, FB, EB, IC ve EGSB gibi yüksek hızlı yaş fermentörler kullanılır. Bu fermentörler, zorunlu anaerobik olan ve sıcaklık, pH ve ayrıca BS değişimlerine duyarlı olan metanojen açısından zengin anaerobik ortam ile korunmalıdır. Bu nedenle, ikinci fermentördeki çalışma koşullarına kesinlikle uyulmalıdır.

Katı Madde İçeriği: Metan fermentörüne gelen materyalin TS değeri, kullanılan fermentörün tipine bağlıdır. CSTR veya CMR kullanılması durumunda, materyalin TS oranı % 10'a kadar olmasına izin verilir. AFB fermentörü, daha düşük katı içeriğine ihtiyaç duyar (TS ≤% 5) (Roos ve Ark., 2004). UASB, EB, FB, EGSB ve IC fermentörler, içerideki biyokütle konsantrasyonunun % 3,5–4 aralığında tutulması durumunda, daha düşük katı içeriği (TS ≤% 3) gerekir (Burton ve Stensel, 2014).

pH Değeri: Metanojenler ve asetojenler için optimal pH durumu aralığı birbirine çok yakındır. Ayrıca asetojenler, metanojenlerden daha güçlüdürler. Bu nedenle, metanojenler için pH koşulunun optimize edilmesi, asetojenlerin büyümesini etkilemez. Aslında, 7,0–8,0 aralığındaki pH değerleri yaygın olarak kullanılır. Ayrıca, bu aşama, asitleri biyogaza dönüştüren bir alkalinizasyon işlemidir. Bu nedenle, bu fermentördeki materyalin pH değeri yukarıdaki aralıktan daha düşük olmalıdır. Fermentör içindeki pH, 6,5 değerinin altına düştüğünde, pH değerini ayarlamak için işlemin durdurulmalıdır (Von ve Ark., 2020).

Sıcaklık: Mezofilik ve termofilik koşullar altında, metanojenik bakteriler için en uygun sıcaklık sırasıyla, 35–37 °C ve 55 °C'dir (Zhang ve Ark., 2006). Li ve Ark. (2017) ve Pavan ve Ark. (2000), MSW'nin fermentasyonunu, hidroliz aşamasında aynı koşullarda, metanojeniz aşamasında farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilmişlerdir. Li ve Ark. (2017), 710 mL_{CH₄}/g_{VS} elde etmek için 37 °C sıcaklıkta, fermentörü HBS=15 gün ile çalıştırmışlardır. Diğer taraftan, Pavan ve Ark. (2000), aynı metan verimine ulaşmak için fermentörü daha yüksek bir sıcaklıkta (55 °C) sadece için HBS=12,5 gün çalıştırmışlardır. Genel olarak, termofilik koşullarda biyogaz üretim oranları, mezofilik koşullarına göre daha yüksektir. Bu nedenle, termofilik durumun kullanılması, OYO değerinin artmasını ve inşaat maliyetlerinden önemli düzeyde tasarruf edilmesini sağlar. Ancak termofilik metanojenler, çevresel değişime mezofilik anaeroblardan daha duyarlıdır. Bu nedenle, termofilik fermentör daha yüksek teknoloji gerektirir.

Bekletme Süresi ve Organik Yükleme Oranı: Yaş fermentör kullanıldığından bekleme süresi (BS) terimi, ÇY ve HBS'yi kapsar. ÇY değerlerinin, mezofilik durumda etkili bir verimlilik için, 20 günden daha fazla olması gereklidir ve termofilik sıcaklıkta ise 7–15 gün aralığında olmalıdır (Burton ve Stensel, 2014). HBS, ÇY'den daha kısadır ve hidrolitik ürünlere bağlı olarak birkaç saatten yaklaşık 20 güne kadar değişir. HBS, genellikle sıcaklık ve OYO değerleri ile birlikte değerlendirilir. Turovskiy ve Mathai (2006) bulamaç arıtımı için mezofilik sıcaklıkta HBS'nin yaklaşık 10 gün olmasını önermişlerdir. Paudel ve Ark. (2017), FW ve kahverengi suyun birlikte fermentasyonu için metanojenik fermentörü, mezofilik sıcaklıkta, HBS=20 gün, ORL=1,24 g_{VS}/L/gün ile optimize etmişlerdir. Rincón ve Ark. (2008) zeytin yağı üretiminden açığa çıkan katı atıklar işlenirken, HBS = 17 gün OYO = 9,2 g_{COD}/L/gün

değerlerinin uygun olduğunu bildirmişlerdir. Li ve Ark. (2017), MSW kullanarak mezofilik sıcaklıkta, OYO = 3,8 kg_{VS}/m³ HBS = 15 gün olması durumunda, 540 mL/g_{VS} biyogaz verimi elde edildiğini bildirmişlerdir. Bununla birlikte, Pavan ve Ark. (2000), MSW için termofilik durumda, aynı biyogaz verimi ile daha yüksek OYO = 5,7 kg_{VS}/m³ gün elde etmek için daha kısa bir HBS (7,7 gün) gerekli olduğunu bildirmişlerdir. Diğer taraftan, OFMSW'yi termofilik durumda fermente etmek için HBS = 8–9 gün arasında olması gerektiği önerilmektedir (Pavan ve Ark., 2000).

Besin Maddeleri ve Kısıtlar: Genel olarak, C:N:P oranının 75–150:5:1 değerlerinde olması gerektiği bildirilmiştir (Burton ve Stensel, 2014). Bununla birlikte, Lissens ve Ark. (2001) metanojenik fermentörün 10'un altında C/N ile iyi çalıştığını belirtmişlerdir. Metanojenik inhibisyon, pH değeri 7,0'ın üzerinde tutmak için yeterli alkalinite olmasına rağmen, asetat konsantrasyonu 3 g/L'yi aştığında ortaya çıkmıştır (Burton ve Stensel, 2014). Metanojenlerin büyümesi için optimum kükürt konsantrasyonlarının literatürde 16 ile 160 mg/L arasında değiştiği bildirilmiştir (Uemura, 2010). Bu fermentörde toplam 3–7 g/L amonyak tolere edilebilir, ancak SAN toksisitesinin eşik değerlerinin 100–250 mg/L aralığında olduğu bildirilmiştir (Burton ve Stensel, 2014).

2.1.3. Üç Aşamalı Sistemler

2.1.3.1. Üç Aşamalı Sistemlerin Tasarımı

İki aşamalı fermentasyon sistemlerindeki ikinci fermentörde, hem asetojenizem hem de metanojenizem aşamaları gerçekleşir. Diğer taraftan, asetojenler ve metanojenlerin, fizyolojik özellikleri ve

besin gereksinimleri önemli düzeyde farklıdır. Aralarındaki büyüme dengesi, önemli inhibisyona neden olan çevresel değişiklikler nedeniyle kaybedilebilir.

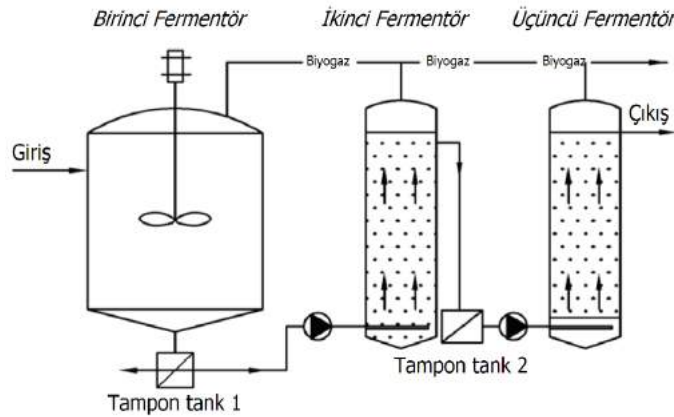
Bu nedenle, hidroliz/asidojenizem, asetojenizem ve metanojenizem aşamalarını çeşitli fermentörlere ayırmak için üç aşamalı fermentasyon kavramı geliştirilmiştir. Bununla birlikte, önceki bölümde tartışılan nedenlerden dolayı, her iki sürecin de ayrılması uygun bir yaklaşım değildir. Bu nedenle, Zhang ve Ark. (2016) ve Stewart (2014), ardışık olarak üç aşamalı fermentasyon modelini önermişlerdir:

- 1) Eksik hidroliz
- 2) Hidroliz/asidojenizem
- 3) Asetojenez/metanojenizem

Bu öneri, ilk fermentördeki hammaddenin hidrolitik oranını önemli ölçüde artıracaktır. Bu nedenle, ikinci öneri daha değerlidir. Aslında, gerçekte homojen olmayan metabolizma nedeniyle, üç aşamalı fermentasyondaki aşamaların dağılımı aşağıdaki gibidir:

- 1) Hidroliz / asidojenizem,
- 2) Asidojenizem / asetojenizem
- 3) Asetojenez / metanojenizem

Birinci ve ikinci fermentörlerde hidrojen elde edilebilir. Ancak önceki bölümde tartışıldığı gibi hidrojen üretimi ekonomik değildir. Üç aşamalı fermentasyon sisteminin akış şeması Şekil 6'da gösterilmektedir.



Şekil 6 Üç aşamalı anaerobik fermentasyon sistemi

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Tek aşamalı fermentör sistemlerinin geniş bir uygulama alanı vardır. Çok çeşitli organik atıklar kullanılabilir. Tek aşamalı fermentasyon sistemlerinde, güçlü bakteriler grupları (fakültatif mikroorganizmalar), aynı fermentörde yaşayan zayıf gruplar (metanojenler) kolayca geri püskürtebilir. Bu nedenle, besleme materyalinin; yük, pH ve katı konsantrasyonundaki değişimler, sistemin kararlılığına zarar verebilir. Asit oluşum hızı metan oluşum hızından daha fazlaysa, UYA birikimi olduğu anlamına gelir. Sistemin durdurulması ve kararlı duruma dönmesi için beklenmesi gerekir. Bu nedenle, iki aşamalı sistem, yukarıda belirtilen sorunlarla karşılaşmamak için en uygun çözüm olarak düşünülebilir.

İki aşamalı fermentasyon fikri, genel fermentasyonun ilerlemesini hızlandırmak için sadece hidroliz/asidojenizem ve metanojenizem aşamalarının her birini optimize etmekle kalmaz, aynı zamanda birçok yarar da sağlar. Metanojenler optimal ortamlarda büyürler. Bu durum, tek aşamalı fermentasyon sistemlerine kıyasla, metanojenlerin diğer gruplar tarafından işgal edilmelerinin daha zor olmasına neden olur. Bu nedenle, iki aşamalı fermentasyon sistemi, tek aşamalı olandan çok daha sağlamdır ve atık akışının değişmesi durumlarında iyi çalışabilir. Ayrıca, hidroliz/asidojenizem aşamasında üretilen biyogaz ekonomik değildir. Daha fazla işlem yapılmadan, gaz toplama sisteminden kolayca uzaklaştırılabilir. Böylece, metan saflaştırma maliyetlerinden önemli ölçüde tasarruf edilebilir. Birçok araştırma, iki aşamalı sistemin daha kısa bekleme süreleri veya daha yüksek VS bozunma değerleri nedeniyle, tek aşamalı

sistemden daha iyi olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, hammadde içerisindeki düşük (TS < % 3) katı içeriği ile iki aşamalı sistemin kullanılması, tek aşamalı sistemden daha verimli değildir.

Üç aşamalı fermentasyon sistemi, atık aktif bulamacın fermentasyonu için, iki aşamalı sistemle karşılaştırıldığında, VS azaltma ve biyogaz verimi daha yüksektir. Aslında, üç aşamalı fermentasyon sistemlerinin kullanılması, yüksek yatırım maliyeti, işletme ve bakım gibi birçok olumsuzluğu da beraberinde getirir. Bu nedenle, üç aşamalı anaerobik fermentasyon sisteminin pilot ölçekteki uygulanmalarını bulmak zordur. Üç aşamalı fermentasyon, ilke olarak tüm fermentasyon aşamalarını optimize etmek için iyi bir fikirdir. Ancak, laboratuvar ölçeğinde bile iki aşamalı fermentasyon sisteminden daha iyi olduğu kanıtlanmamıştır.

Ayrıca, iki aşamalı sistemler gibi, üç aşamalı sisteme gelen atık akımının mekanik bir ön işleme tabi tutulması gerekir (partikül boyutu < 15 mm). TS oranını ayarlamak için bazen besleme materyaline en fazla % 15 oranında su eklenir. CSTR, hidroliz fermentör olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Hidrolizden sonra, hidrolize edilemeyen materyaller birinci tampon tanktan çıkarılır. Burada substratın pH ve UYA konsantrasyonu, bir sonraki aşama için de ayarlanabilir. İkinci fermentör, böyle bir anaerobik askıda büyütme işlemini gerçekleştirir. Bu nedenle, ikinci fermentör genellikle bir CSTR veya UASB tip fermentördür. Üçüncü fermentöre gelen ikinci fermentörün atığı, pH'ı ve asetik asit konsantrasyonunu kontrol etmek amacıyla bir tampon tankından geçmelidir. Her bir fermentasyon aşaması için ferdamentör tipinin, besleme yönteminin ve sıcaklık fazının seçilmesi, üç aşamalı fermentasyon sistemlerinin karmaşık bir tasarım duruma gelmesine neden olur.

Tek aşamalı yaş düşük hızlı fermentasyon sistemleri, düşük biyogaz verimi ve düşük OYO (0,5–1,6 kg_{VS}/m³gün) ile karakterize edilirler. Çalışma sırasında dış ortam sıcaklığına bağlı olarak, uzun BS=30–60 gün ve büyük fermentörler gerektirir. Ancak, kolay kullanım ve ucuz yatırım gibi birçok fayda sağlarlar. Ekonomik yararını artırmak için, herhangi bir ön arıtma aşaması gerekmeksizin, sadece biyolojik olarak parçalanabilen ince atık kaynakları (hayvan gübreleri gibi) için uygulanmalıdır. Bu nedenle, yaş düşük hızlı fermentasyon sistemleri, tarım arazileri bulunan, sıcak iklime sahip, kırsal alanlar için iyi bir çözümdür ve fermentasyon ürünleri tarımsal üretim sürecinde verimi artırmak ve toprak yapısını iyileştirmek amacıyla kullanılabilir.

4. Sonuç

Tek aşamalı yaş yüksek hızlı fermentasyon sistemleri, OYO 4–8 kg_{VS}/m³gün düzeyine kadar olan yaş düşük hızlı sistemlerden çok daha etkilidir. Bununla birlikte, bazen kullanılan ekipman ve ön işlem süreci nedeniyle işlem, düşük hızlı fermentörlerden daha karmaşıktır. Katı içeriği düşük (< % 3–5) hammaddeler için, UASB, FBR, EBR, EGBR ve CSTR gibi birçok fermentör bu sistemlerde etkin olarak kullanılabilir. TS > % 5 olduğunda, CSTR yaygın olarak kullanılır. Aslında, bu sistemler kanalizasyon atıkları, tarım ürünleri ve endüstriyel atık su fermentasyonu için yaygın olarak uygulanmaktadır. Hayvansal kaynaklı organik atıkların fermentasyonunda da kullanılan çürütücüler de genellikle CSTR tipidir; diğer tipler düşük katı madde ve yüksek çözülebilir KOİ şartlarında daha etkin kullanıldığından hayvansal atıklarda kullanılamazlar. OFMSW gibi katı içeriği yüksek besleme materyali (TS > % 20) işlemek için de kullanılabilirler.

Ancak, katı içeriği yüksek hammadde kullanılması durumunda seyreltilmesi gerekir. Bu durumda, su tüketimi ve enerji giderleri sistemin sağladığı enerji faydasını önemli ölçüde azaltır.

Tek aşamalı kuru fermentasyon sistemleri, katı içeriği yüksek hammadde (TS = % 30–35) ve yüksek OYO (15 kg_{VS}/m³gün) durumunda, AD teknolojisi için önemli bir gelişmedir. Katı içeriği çok yüksek hammadde kullanılması durumunda (> % 35), hammaddenin seyreltilmesi gerekir. Biyolojik olarak parçalanabilir atıkların büyük bir bölümünü oluşturan OFMSW'nin işlenmesi için çok uygundur. Bu sistemler, sürekli veya kesikli çalışma yöntemleri ile ayırt edilebilirler. Sürekli çalışma yönteminin başlıca üstünlükleri şunlardır:

- ✓ Su tüketimi düşüktür.
- ✓ Fermentör küçüktür.
- ✓ Atık su üretimi çok azdır.
- ✓ Ön arıtma işlemi ucuzdur.
- ✓ Atık kalıntısı kompostlama için iyi uygulanabilir durumdadır.
- ✓ Isı enerjisi gereksinimi daha azdır.

Bu nedenle, kentsel alanlar için sürekli çalışan sistemler uygulanmalıdır. Kesikli sistemleri için, ekipman yatırımı ve çalışması için gerekli maliyetler daha düşüktür. Bununla birlikte, sürekli çalışan sistemlerden çok daha büyük bir alana ihtiyaç vardır ve gaz üretimi değişkendir. Bu nedenle, kesikli sistemler toplu banliyö alanları için mükemmel bir çözümdür.

Çeşitli fermentörlerde, hidroliz ve metanojeniz aşamalarının ayrıldığı iki aşamalı AD sistemleri, tek aşamalı sistemlerden daha kısa HBS ve daha yüksek OYO düzeylerine (50 kg_{COD}/m³gün düzeyine kadar) sahip olabilir. İki aşamalı AD sistemlerinin başlıca üstünlükleri şunlardır:

- ✓ İnşaat maliyeti düşüktür.
- ✓ İşletmede esneklik daha fazladır.
- ✓ Daha sağlamdır.
- ✓ Üretilen gazın metan içeriği yüksektir.
- ✓ Fermentasyon verimliliği daha yüksektir.
- ✓ Özellikle düşük C/N (< 10) ile etkin olarak çalışırlar.

Hammaddenin katı içeriği için en iyi uygulama aralığı % 5–15 arasındadır. TS < % 5 olduğunda, tek aşamalı yaş sistemleri kullanmak daha uygun olabilir. TS > % 20 olması durumunda, aşağıdaki işlemler için gerekli enerji miktarı önemli düzeyde artar:

- Besleme materyalinin seyreltilmesi
- Fermentörlerin ısıtılması
- Materyalin beslenmesi

Bu nedenle, kuru tek kademeli fermentasyon sistemini kullanmak daha iyidir. İki aşamalı AD sistemleri, endüstriyel atık su için uygundur. Üç aşamalı fermentasyon sistemlerinin verimi, iki aşamalı sistemlere kıyasla iyileştirilmemiştir. Üç aşamalı sistemlerin büyük ölçekli uygulanması aşağıdaki nedenlerle, günümüzde uygun bir seçim değildir:

- İki aşamalı AD sistemlerine kıyasla, daha karmaşık sistemlerdir.
- Yatırım maliyetleri daha yüksektir.
- Bakım ve işletim için daha fazla enerji kullanılır.

Bununla birlikte, üç aşamalı sistemler hala uygun bir teknolojik gelişmedir. Kullanımları ile ilgili maliyetleri azaltmak için daha fazla araştırılmaları gereklidir.

Kaynakça

- Abbasi, T, Tauseef, S, Abbasi, SA. (2011). Biogas Energy. In: Springer Briefs in Environmental Science. New York: Springer Science and Business Media.
- Akyol, Ç, Aydın, S, Ince, O, Ince, B. (2016). A comprehensive microbial insight into single-stage and two-stage anaerobic digestion of oxytetracycline-medicated cattle manure. *Chemical Engineering Journal*. Vol. 303, 675-684
- Burton, FL, Stensel, HD. (2014). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*. 5th ed. New York: McGraw-Hill.
- Dareioti, MA, Kornaros, M. (2014). Effect of Hydraulic Retention Time (HRT) on the Anaerobic Co-Digestion of Agro-industrial Wastes in a Two-Stage CSTR System. *Bioresour. Technol.*, 167, 407-415.
- Deublein, D, Steinhauser, A. (2011). *Biogas from Waste and Renewable Resources: An Introduction*. Germany: Wiley-Interscience; 2011.
- Duan, N, Dong, B, Wu, B, Dai, X. (2012). High-solid Anaerobic Digestion Of Sewage Sludge Under Mesophilic Conditions: Feasibility Study. *Bioresour. Technol.*, 104, 150-156.
- Eryılmaz, T, Yeşilyurt, M, Gökdoğan, O, Yumak, B. (2015). Determination of Biogas Potential from Animal Waste in Turkey: A Case Study for Yozgat Province. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2 (4), 106-111. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ejosat/issue/45158/565086>.
- Kanat, G, Erguven, G. (2020). Importance of Solid Waste Management on Composting, Problems and Proposed Solutions: The Case of Turkey. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (19), 66-71. DOI: 10.31590/ejosat.672413.
- Kayhanian, M, Tchobanoglous, G, Brown, RC. (2007). Biomass Conversion Processes For Energy Recovery. In: Kreith, F., Goswami, DY, eds. *Handbook of energy efficiency and renewable energy*. Florida: CRC Pres, p. 22.1-22.67.
- Kim, M, Gomec, CY, Ahn, Y, Speece, R. (2003). Hydrolysis and Acidogenesis of Particulate Organic Material in Mesophilic and Thermophilic Anaerobic Digestion. *Environ. Technol.* 2003;24: 1183-1190.
- Kocabey, S. (2019). Balıkesir İli İçin Hayvansal Atık Kaynaklı Biyogaz Potansiyelinin Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 234-243. DOI: 10.31590/ejosat.619058.
- Komemoto, K, Lim, YG, Nagao, N, Onoue, Y, Niwa, C, Toda, T. (2009). Effect of Temperature on UYA's and Biogas Production in Anaerobic Solubilization of Food Waste. *Waste Manage.*, 29, 2950-2955.
- Kozuchowska, J, Evison, LM. (1995). UYA Production in Pre-acidification Systems without pH Control. *Environ. Technol.*, 16, 667-675.
- Li, W, Guo, J, Cheng, H, Wang, W, Dong, R. (2017). Two-phase Anaerobic Digestion of Municipal Solid Wastes Enhanced by Hydrothermal Pretreatment: Viability, Performance and Microbial Community Evaluation. *Appl. Energy*, 189, 613-622.
- Lindner, J, Zielonka, S, Oechsner, H, Lemmer, A. (2015). Effect of Different Ph-Values on Process Parameters in Two-Phase Anaerobic Digestion of High-Solid Substrates. *Environ. Technol.*, 36, 198-207
- Lissens, G, Vandevivere, P, De Baere, L, Biey, E, Verstraete, W. (2001). Solid Waste Digestors: Process Performance and Practice for Municipal Solid Waste Digestion. *Water Sci. Technol.*, 44, 91-102.
- Moestedt, J, Nordell, E, Hallin, S, Schnürer, A. (2016). Two-Stage Anaerobic Digestion for Reduced Hydrogen Sulphide Production. *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 91, 1055-1062.
- Nakakubo, R, Møller, HB, Nielsen, AM, Matsuda, J. (2008). Ammonia inhibition of methanogenesis and identification of process indicators during anaerobic digestion. *Environ. Eng. Sci.*, 25, 1487-1496.
- Nayono, SE. 2010 *Anaerobic Digestion of Organic Solid Waste for Energy Production* [dissertation]. Germany: Karlsruhe Institute of Technology.
- Paudel, S, Kang, Y, Yoo, YS, Seo, GT. (2017). Effect of Volumetric Organic Loading Rate (OLR) on H₂ and CH₄ Production by Two-Stage Anaerobic Co-Digestion of Food Waste And Brown Water. *Waste Manage.*, 61:484-493.
- Pavan, P, Battistoni, P, Cecchi, F, Mata-Alvarez, J. (2000) Two-Phase Anaerobic Digestion of Source Sorted OFMSW (Organic Fraction Of Municipal Solid Waste): Performance and Kinetic Study. *Water Sci. Technol.*, 41, 111-118.
- Ramos-Suárez, J, Arroyo, NC, González-Fernández, C. (2015). The Role of Anaerobic Digestion in Algal Biorefineries: Clean Energy Production, Organic Waste Treatment, and Nutrient Loop Closure. In: Singh B, Kuldeep B, Faizal B, eds. *Algae and environmental sustainability*. India: Springer; p. 53-76.
- Rapport, J, Zhang, R, Jenkins, BM, Williams, RB. (2008). Current Anaerobic Digestion Technologies Used for Treatment of Municipal Organic Solid Waste. In: California Environmental Protection Agency. California: California Integrated Waste Management Board.
- Rincón, B, Borja, R, González, JM, Portillo, MC, Sáiz-Jiménez, C. (2008). Influence of Organic Loading Rate and Hydraulic Retention Time on the Performance, Stability and Microbial Communities of One-Stage Anaerobic Digestion of Two-Phase Olive Mill Solid Residue. *Biochem. Energ. J.*, 40, 253-261.
- Roos, K, Martin, J, Moser, M. (2004). *AgSTAR handbook: A Manual for Developing Biogas Systems at Commercial Farms in the United States*. US EPA.
- Rosgaard, L, Andric, P, Dam-Johansen, K, Pedersen, S, Meyer, AS. (2007). Effects of Substrate Loading on Enzymatic Hydrolysis and Viscosity of Pretreated Barley Straw. *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 143, 27-40.
- Stewart, WC. (2014). Three Stage, Multiple Phase Anaerobic Digestion System and Method [Internet]. Google Patents.
- Tchobanoglous, G, Burton, FL, Stensel, HD. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. New York: McGraw-Hill Education.
- Turker, G. (2020). *Organik Atıklardan Biyogaz Üretimi*, Lambert Academic Publishing
- Turovskiy, IS, Mathai, P. (2006). *Wastewater Sludge Processing*. New Jersey: Wiley-Interscience.
- Uemura, S. (2010). Mineral Requirements for Mesophilic and Thermophilic Anaerobic Digestion of Organic Solid Waste. *Int. J. Environ. Res.*, 4, 33-40.
- Yen, HW, Brune, DE. (2007). Anaerobic Co-Digestion of Algal Sludge And Waste Paper to Produce Methane. *Bioresour. Technol.*, 98,130-134.
- Yu, HQ, Fang, HHP. (2002). Acidogenesis of Dairy Wastewater at Various pH Levels. *Water Sci. Technol.*, 45, 201-206.
- Yu, L, Ma, J, Frear, C, Zaher, U, Chen, S. (2013). Two-Stage Anaerobic Digestion Systems Wherein One of the Stages Comprises A Two-Phase System. Google patents.

- Zenk, H. (2019). Samsun İlinin Hayvan Gübrelerinden Üretilebilecek Elektrik Enerji Potansiyeli. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* , (17) , 1307-1312 . DOI: 10.31590/ejosat.661910
- Zhang, J., Loh, K-C., Li, W., Lim, JW., Dai, Y., Tong, YW. (2016). Three-Stage Anaerobic Digester for Food Waste. *Appl. Energ.*, 194, 287-295.
- Zhang, J, Sun, K, Wu, M, Zhang, L. (2006). Influence of Temperature on Performance of Anaerobic Digestion of Municipal Solid Waste. *J. Environ. Sci.*, 18, 810-815



Bazı Yabani Meyve Türlerinin Antioksidan Kapasitesi, Toplam Fenolik Madde İçeriği ve Fenolik Asit Profilinin Belirlenmesi

Büşra Tüysüz¹, Özlem Çakır^{2*}, Enes Dertli³

^{1*} Bayburt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bayburt, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3155-2820), busra.tysuz@outlook.com

² Bayburt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bayburt, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5080-7721), ocakir@bayburt.edu.tr

³ Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0421-6103), edertli@yildiz.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 31 Ekim 2020 ve Kabul Tarihi 31 Aralık 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.818925)

ATIF/REFERENCE: Tüysüz, B., Çakır, Ö., & Dertli, E. (2021). Bazı Yabani Meyve Türlerinin Antioksidan Kapasitesi, Toplam Fenolik Madde İçeriği ve Fenolik Asit Profilinin Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 191-197.

Öz

Bu çalışmada ülkemizde doğal olarak yetişen ahlat, alıç, kızılıçık ve ateş diken meyvelerinin fenolik madde profilleri ve antioksidan kapasitelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Meyve örnekleri etüv yardımıyla kurutulularak ekstrakte edilmiştir. Sonrasında ise toplam fenolik madde içeriği Folin Ciocalteu (FCR) ayırıcı ile antioksidan kapasiteleri ise DPPH, CUPRAC, ABTS ve β -karoten ağartma yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. Meyvelerin fenolik madde profilleri ise yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC) yoluyla 9 fenolik asit standardı kullanılarak belirlenmiştir. Ahlat, alıç, kızılıçık ve ateş diken meyvelerinin toplam fenolik madde içerikleri sırası ile 493, 847, 823, 2555 mg GAE/100g olarak belirlenmiştir. İncelenen numunelerin DPPH yöntemine göre antioksidan kapasiteleri sırası ile %12.275, %22.754, %47.705, %83.134; CUPRAC yöntemine göre antioksidan kapasiteleri 0.258, 0.619, 0.684, 2.871 mmol TE/g; ABTS yöntemine göre antioksidan kapasiteleri 73.78, 49.33, 51.56, 79.34 %TEAC ve β -karoten ağartma metoduna göre %93.63, %96.67, %88.70, %97.18 olarak saptanmıştır. HPLC kullanılarak elde edilen fenolik profil sonuçlarına göre incelenen yabani meyvelerde klorojenik asit, kafeik asit, vanilik asit ve sinapik asit bileşenlerinin ağırlıklı olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yabani meyve, fenolik asit profili, antioksidan, toplam fenolik içerik

Determination of Antioxidant Capacity, Total Phenolic Content and Phenolic Acid Profiles of Some Wild Fruit

Abstract

In this study, it was aimed to determine the phenolic substance profiles and antioxidant activities of wild fruit species such as, wild pear, hawthorn, cornelian cherry, firethorn which grow naturally in Turkey. For this purpose, the samples dried in the drying oven has been used in extraction. Total phenolic content was determined by FCR method, antioxidant capacity was determined by DPPH, CUPRAC, ABTS and β -carotene bleaching methods. The phenolic profiles of the fruits were illuminated by HPLC. Total phenolic content of the fruits was determined as 493 (wild pear), 847 (hawtorn), 823 (cornelian cherry), 2555 (firethorn) mg GAE/100 g. The results of antioxidant capacity of the wild pear, hawtorn, cornelian cherry and firethorn were determined as 12.275, 22.754, 47.705, 83.134 %TAC in DPPH method, 0.258, 0.619, 0.684, 2.871 mmol TE/g in CUPRAC, 73.78, 49.33, 51.56, 79.34 % TEAC in ABTS and 93.63%, 96.67%, 88.70%, 97.18% in β -carotene bleaching method, in respect. The fruits mainly contain chlorogenic acid, caffeic acid, vanillic acid and synapic acid.

Keywords: Wild fruit, phenolic acid profile, antioxidant, total phenolic content

* Sorumlu Yazar: ocakir@bayburt.edu.tr

1. Giriş

Meyve tüketiminin kanser ve kalp-damar rahatsızlıkları başta olmak üzere birçok hastalığın önlenmesinde çok önemli role sahip olduğu bilinmektedir. Meyvelerin bu özelliğinin temelinde, sahip oldukları antioksidatif etkiler yer almaktadır. Bu antioksidatif etkilerin temelinde meyvelerde bulunan E vitamini, askorbik asit, fenolik bileşikler ve karotenoidler gibi bileşenler yer almaktadır (Oliveira ve ark., 2008). Birçok doğal antioksidan kaynağı olan meyvelerin tüketimi ile hücrede meydana gelebilecek oksidasyon olayları engellenerek serbest radikaller tarafından DNA'nın oksidatif zarara uğraması önlenmekte ya da olası hasarlar azaltılmaktadır (Vinson ve ark., 2001; Tural & Koca, 2008). Bunların yanı sıra kültüre alınmış meyvelere nazaran yabani meyve türlerinin antioksidan kapasitesinin daha yüksek olduğu bildirilmektedir. Doğal ortamlarında kendiliğinden yetişen yabani meyve türlerine olan ilgi bu özellikleri nedeni ile son yıllarda oldukça artmıştır (Çakır & Karabulut, 2020). Yabani meyve tür ve alt türlerine ev sahipliği yapan ülkelerden birisi de Türkiye olup (Kökosmanlı & Keleş, 2000), en çok değerlendirilen yabani meyveler arasında alıç, ahlat, kızılçık ve ateş dikeni yer almaktadır.

1.1. Alıç (*Crataegus* spp.)

Alıç meyvesi *Rosaceae* familyasına ait olup Türkiye'nin birçok bölgesinde özellikle dağlık alanlarda bolca yetişmektedir. Bu meyve başta Ca, P, K, Mg ve Fe olmak üzere yüksek miktarlarda farklı mineral maddeler içermektedir. Ayrıca karbonhidrat, şeker ve vitamin (özellikle C vitamini) bakımından da oldukça zengindir (Özcan ve ark., 2005). Alıcın meyve ve çiçeklerinde antioksidan polifenoller, vitaminler, saponin, organik asit ve birçok faydalı biyoaktif bileşen bulunmaktadır. Alıç ağacının yaprak, çiçek ve meyveleri kalbin düzenli çalışmasını desteklemek ve kalp-damar sistemi fonksiyonlarını normalize etmek için kullanılmaktadır (Chang & Zuo, 2002).

1.2. Ahlat (*Pyrus elaeagnifolia*)

Yaban armudu olarak da bilinen ve *Rosaceae* familyasına ait bir meyve olan ahlat olgunlaşma ve hasat sonrasında yumuşak ve yenilebilir niteliktedir. Bu yabani meyve geleneksel tıpta kullanılmakta, aynı zamanda zehirli yılan sokmalarının detoksifikasyonu, ishalin tedavisinde, diş eti hastalıklarında, böbrek ve göz hastalıklarında da başvurulmaktadır Ülkemizin çeşitli yörelerinde bu meyvenin reçeli, pekmezi, turşusu yapılarak tüketilmektedir Aynı zamanda idrar yollarında meydana gelen sorunları kısa sürede ortadan kaldırmakta ve idrar sökücü olarak kullanılabilmektedir. Meyvenin içeriğinde, karoten, tanen, şeker, meyve asidi, pektin ve B vitamini, C vitamini yer almaktadır (Çakılcıoğlu ve ark., 2010; Güdücü, 2014; Baltas, 2017; Murathan ve ark., 2019)

1.3. Kızılçık (*Cornus mas* L.)

Kızılçık, Cornaceae familyasına ait yabani bir meyvedir. Bu yabani meyve oldukça önemli vitamin kaynağı olup A, C, E, K, tiamin, riboflavin ve piridoksin vitaminleri açısından oldukça zengindir. Kızılçık meyvesinin idrar yolu enfeksiyonları, böbrek taşları, solunum enfeksiyonları, kardiyovasküler rahatsızlıklar ve kanser gibi birçok hastalık üzerinde olumlu etkilere sahip olduğu bildirilmiştir. Diğer taraftan anti-tümör etkiye sahip nadir meyvelerden birisi olup

bu özelliği içerdiği polifenolik bileşiklere atfedilmiştir (Ziegler, 1991; Rimm ve ark., 1996; Terry ve ark., 2001; Aykut & Konuklugil, 2018; Cosmulescu ve ark., 2017; Yigit, 2018; Hassanpour ve ark., 2011)

1.4. Ateş Dikeni (*Pyracantha coccinea*)

Rosaceae familyasına ait ateş dikeni halk arasında tavşan elması, köpek elması veya kuş alıcı olarak da bilinmektedir. Sahip olduğu kırmızı-turuncu meyveleri çay olarak da tüketilebilen ateş dikeni önemli farmakolojik özelliklere sahiptir (Fico ve ark., 2000). Boğaz enfeksiyonunda kullanılabildiği gibi kalp-damar sağlığı üzerinde de olumlu etki gösterdiği gösterilmiştir. Öyle ki kalp ilaçlarının yerini aldığı söylenmektedir. Ateş dikeni meyvesinin; C vitamini, E vitamini ve A vitamini ayrıca beta karoten ve likopen bakımından zengin olup cilt sağlığı üzerine olumlu etki gösterdiği bildirilmiştir (Çöteli & Karataş, 2017).

Bu araştırma makalesinde Doğu Karadeniz sınırlarında bulunan ve özel öneme sahip yabani meyvelerden alıç, ahlat, kızılçık ve ateş dikeni meyvelerinin antioksidan kapasitesi ve fenolik asit profilinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Çalışma kapsamında kullanılan analitik saflıktaki kimyasallar Sigma- Aldrich (St. Louis, USA) ve Merck (Gernsheim, Germany) firmalarından temin edilmiştir. Meyve örnekleri Gümüşhane (alıç), Trabzon (ateş dikeni, kızılçık), Bayburt (ahlat) illerinin dağlık bölgelerinden temin edilmiştir. Meyveler kurutma anına kadar -80°C (Hettich Freezer)'de muhafaza edilmiştir. Meyvelerin kurutma işleminde etüv (Incucell) kullanılmıştır. Nem miktarı %10'un altına düşünce işleme son verilmiştir. Kurutulan meyveler analizler yapılmaya kadar cam kavanozlarda temiz ve kuru bir ortamda muhafaza altına alınmıştır.

2.1. Ekstraksiyon

Bu amaçla 30 gr kurutulmuş meyveler porselen havanda öğütülmüştür. Öğütülen meyvelerden 0,5 g örnek beher içine alınmış ve üzerine 30 ml metanol-su (4:1) karışımı eklenerek 24 saat oda sıcaklığında karıştırılmıştır. Karıştırılma işleminden sonra karışım santrifüj tüplerine alınmış ve 15 dakika süresince 5000 rpm ($+4^{\circ}\text{C}$)'de soğutmalı santrifüj (Hettich Universal 320R) kullanılarak santrifüj edilmiştir. Bu işlem sonrası süpernatant toplanmış ve 0,45 μm 'lik filtreden geçirilmiş analizler yapılmaya kadar -80°C 'de muhafaza edilmiştir.

2.2. Folin-Ciocalteu Ayracı (FCR) ile Toplam Fenolik Madde İçeriği

Hazırlanan meyve ekstraktlarından 1 ml alınmış üzerine 5ml FCR (0.2 N) ve 4 ml Na_2CO_3 (%7.5) ilave edilmiş, çözeltiler oda sıcaklığında ve karanlıkta 90 dakika süre ile karıştırıldıktan sonra 760 nm'de absorbansları ölçülmüştür. Bu işlemlerin aynısı standart gallik asit için de yapılmıştır. Meyve ekstraktlarının fenolik madde içeriği gallik asit eş değeri (mg GAE/g) olarak verilmiştir (Singleton ve Rossi, 1965).

2.3. Ekstraktların Antioksidan Kapasitesinin Belirlenmesi

2.3.1. DPPH• (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl)

Bu yöntem için, Brands- Williams ve ark., (1958)' nin yaptığı metod modifiye edilerek kullanılmıştır. 1 ml ekstrakt üzerine 2 ml DPPH çözeltisi (6×10^{-5} M) ilave edilmiş ve 30 dakika oda sıcaklığında inkübasyona bırakılmıştır. 517 nm dalga boyunda absorpsiyon değerleri ölçülmüş ve sonuçlar aşağıdaki eşitlikten yararlanarak %Toplam Antioksidan Kapasitesi olarak hesaplanmıştır.

$$\%TAC = \frac{Abs_{kontrol} - Abs_{örnek}}{Abs_{kontrol}} \times 100 \quad (1)$$

2.3.2. ABTS^{•+} (2,2'-azinobis-(3-etilbenzotiazolin-6-sulfonik asit)

Bu yöntem için, öncelikle 2.45 mM potasyum persülfat içeren 7 mM ABTS çözeltisi hazırlanmıştır. Bu çözelti 12-16 saat oda sıcaklığında ve karanlıkta bekletilerek, ABTS^{•+} radikalinin oluşması sağlanmıştır. Kullanılmadan önce koyu mavi/yeşil renkte olan bu çözeltinin etanol ile absorpsiyonu 734 nm'de $0.7 (\pm 0.025)$ olana kadar seyreltilmiştir. 2 ml seyreltilmiş ABTS çözeltisi üzerine 1 ml ekstrakt eklenmiş ve absorpsiyonu ölçülmüştür. Standart Trolox eğrisi oluşturularak sonuçlar %TEAC değeri olarak verilmektedir (Gill ve ark., 2000; Cemeroglu, 2007)

2.3.3. CUPRAC (Bakır(II) İyonu İndirgeme Esaslı Antioksidan Kapasite)

Bu yöntemin uygulanmasında Apak ve ark., (2007)'nin metodu referans alınmıştır. 1 ml $CuCl_2$ (10^{-2} M), 1 ml Neokuproin (7.5 mM), 1 ml NH_4Ac (1M, pH 7.0) tampon çözeltileri üzerine 0.5 ml ekstrakt eklenip, toplam hacim 4.1 ml olacak şekilde saf su ilave edilerek tamamlanmıştır. Tüpler ağızları kapalı bir biçimde oda sıcaklığında ve karanlıkta 30 dakika bekletilmiştir. Standart kurve için 0.1-0.01 mg/ml Trolox çözeltileri hazırlanmış ve aynı işlemler tekrarlanmıştır. 30 dakika sonunda spektrofotometre ile 450 nm'de absorpsiyonları okunarak sonuçlar aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\frac{Abs}{\epsilon} \times \frac{V_t}{V_0} \times SF \times \frac{V_e}{m} \text{ mmol} \frac{TE}{g} \quad (2)$$

Burada ϵ : 16700, V_t : analizde kullanılacak çözeltinin toplam hacmi (ml), V_0 : alınan numunenin hacmi (ml), V_e : ekstraksiyon hacmi (ml), SF: seyreltme faktörü, m: ekstraksiyonda kullanılan numunenin miktarı (g) olarak değerlendirilmektedir.

2.3.4. β -karoten Ağartma

Bu metodun uygulanmasında Kaur & Kapoor (2002) yöntemi temel alınmış ve bazı modifikasyonlar yapılarak uygulanmıştır. Öncelikle 0,002 gr beta karoten alınmış 20 ml kloroformda çözündürülmüştür. Daha sonra 0.04 g linoleik asit 0.4 g Tween 40 ve 4 ml beta karoten çözeltisi (1:10 β -karoten:Kloroform) bir balonda karıştırılmış ve karışımdaki kloroformu uzaklaştırmak için döner başlıklı vakum evaporatör kullanılarak $50^\circ C$ 'de evapore edilmiştir. Daha sonra bu balona 100 ml oksijenlenmiş saf su ilave edilerek karıştırılmıştır. Kontrol için yukarıda kullanılan oranlar yarıya düşürülmüş ve β -karoten çözeltisi yerine sadece kloroform kullanılmıştır. Uygun oranda seyreltilmiş ekstrakt 1:3 oranında β -karoten

çözeltisi ile karıştırılarak 470 nm'de absorpsiyon ölçümü yapılmıştır. Çözeltilerin absorpsiyonları 0. dakikadan başlanarak 100. dakikaya kadar 10'ar dakika arayla ölçülmüştür. Ölçüm esnasında çözeltiler $50^\circ C$ 'lik su banyosunda bekletilmiştir. Standart madde olarak BHA ve BHT kullanılmıştır. Örneklerin antioksidan aktivitesi (AA) aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır. (*a: başlangıç absorpsiyonu, b: 100 dakikalık süredeki absorpsiyon, t: süre)

$$AA = \frac{DR_{kontrol} - DR_{örnek \text{ yada standart}}}{DR_{kontrol}} \times 100 \quad (3)$$

$$DR_{örnek, standart, kontrol} = \ln(a/b) \times \frac{1}{t} \quad (4)$$

İstatistik analizler 3 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara varyans analizi uygulanmış ve önemli bulunan ana varyasyon kaynaklarına ait ortalamalar Duncan çoklu karşılaştırma testi ile karşılaştırılmıştır (SPSS 20.0).

2.4. Fenolik Asit Profiline Belirlenmesi

Bu analizin gerçekleştirilmesinde Öztürk ve ark., (2007)'nin yöntemi temel alınmış ve bazı modifikasyonlar yapılmıştır. Mobil faz olarak, iki solvent sistemi [A: Metanol; B: %2'lik Asetik Asit] kullanılmıştır. Çalışmada gradiyent elüsyon kullanılmış olup koşullar Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 3'de ise kullanılan fenolik asit standartları sunulmuştur.

Tablo 1. HPLC koşulları

HPLC Sistemi	Shimadzu UFCL LC-20AD Separation module, SPD-M20A PDA dedektör
Kolon	Intersil ODS-3 C18, 5 μm , (250 x 4,6 mm)
Mobil sistem	Gradient
Mobil faz A	Metanol(CH ₃ OH)
Mobil faz B	%2 Asetik asit(CH ₃ COOH)
Kolon sıcaklığı	30°C
Enjeksiyon hacmi	20 μl
Dalga boyu	190-400 nm arası

Tablo 2. HPLC gradient çalışma koşulları

Zaman	%A	%B	Akış Hızı
0. dk	10	90	20 μl
15. dk	25	75	
20. dk	40	60	
30. dk	50	50	
38. dk	10	90	
40. dk	10	90	

Tablo 3. Analizlerde kullanılan standart fenolik maddeler

Gallic Acid	Syringic Acid	Vanillic Acid
Chlorogenic Acid	4-Hydroxybenzoic Acid	Trans-Ferulic Acid
Sinapic Acid	Caffeic Acid	p-Coumaric Acid

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Yabani Meyve Örneklerinin Toplam Fenolik Madde İçeriği

Dört tür yabani meyve örneğinin toplam fenolik madde içeriği spektrofotometrik olarak belirlenmiş ve en yüksek

fenolik madde içeriği ateş dikeni meyvesinde 2555 mg GAE/100g olarak tespit edilmiştir (Tablo 4). Bu meyveyi sırasıyla alıç, kızılçık ve ahlat takip etmiştir. Alıç ve kızılçık meyvelerinin fenolik madde içeriklerinin ise birbirine oldukça yakın olduğu saptanmıştır.

Tablo 4. Toplam fenolik madde ve antioksidan kapasite sonuçları

Örnek	Toplam Fenolik Madde (mg GAE/100g)	DPPH (%TAC)	CUPRAC (mmol TE/g)	ABTS (%TEAC)	β-karoten Ağartma (%)
Ahlat	493±4,36 ^c	12.275±0,58 ^c	0,258±0,00 ^c	73,78±0,12 ^b	93.63±0,03 ^c
Alıç	847±2,52 ^b	22.754±0,58 ^c	0,619±0,00 ^b	49.33±0,20 ^d	96.67±0,38 ^b
Kızılçık	823±13,65 ^b	47.705±2,25 ^b	0.684±0,04 ^b	51.56±0,28 ^c	88.70±0,80 ^d
Ateş Dikeni	2555±45,06 ^a	83.134±2,50 ^a	2.871±0,04 ^a	79.34±0,20 ^a	97.18±0,42 ^a

** Aynı sütunda farklı üst indis harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p<0.01).

Bu çalışmada incelenen meyvelerin fenolik madde içeriklerinin benzer çalışmalarındaki sonuçlarla karşılaştırıldığında daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Çoklar & Akbulut (2016) tarafından yapılan bir çalışmada, alıç meyvesi üç farklı çözücü ile ekstrakte edilmiş ve en yüksek toplam fenolik madde içeriğinin 1245.30 mg GAE/100g kuru ağırlık ile metanol:su karışımından elde edildiği bildirilmiştir. Ercişli ve ark., (2015)'nin tarafından yürütülen bir çalışmada aseton:su:asetik asit (70:20.5:0.5) karışımı ile ekstrakte edilen 18 farklı alıç çeşidinde toplam fenolik madde içeriği 660-3460 mg GAE/100g-taze ağırlık aralığında tespit edilmiştir. Bahorun ve ark., (2003)'nin alıç genotipleri üzerine yaptıkları çalışmada örneklerdeki toplam fenolik madde miktarını 4740 mg GAE/100 g olduğu bildirilmiştir. Araştırmamızda ise alıç meyvesinin toplam fenolik madde içeriği 847 mg GAE/100g olarak tespit edilmiş ve yapılan bu araştırmalar ile benzerlik göstermektedir.

Pyrus elaeagnifolia (ahlat) meyvesinden elde edilen aseton ve metanol ekstraktlarının toplam fenolik madde miktarının tespit edildiği bir çalışmada meyvenin aseton ekstraktında bu değer 49.81 µg GAE/mg (taze ağırlık), metanol ekstraktında ise 28.91 µg GAE/mg (taze ağırlık) olarak bildirilmiştir (Güdücü, 2014). Yılmaz ve ark., (2015) tarafından yürütülen bir diğer çalışmada ahlat meyvesinin toplam fenolik madde içeriği 42.79 ile 119.14 mg GAE/100 g (taze ağırlık) aralığında saptanmıştır. Murathan ve ark., (2019) ise ahlat meyvesinin toplam fenolik madde içeriğini 174.2 mg GAE/100 g (taze ağırlık) olarak bulmuştur. Araştırma sonuçlarımız mevcut araştırma sonuçlarından daha yüksek bulunmuştur.

Araştırma kapsamında kullandığımız kızılçık meyvesinin toplam fenolik madde içeriği 823 mg GAE/100g olarak belirlenmiştir. Moldovan ve ark., (2016) tarafından yapılan bir çalışmada kızılçık meyvesinin toplam fenolik madde içeriği 489.94 mg GAE/100 g taze ağırlık olarak belirlenmiştir. Hassanpour ve ark., (2011) ise İran'da yetişen kızılçık genotiplerinin toplam fenolik içeriklerini 100 g taze ağırlık başına 1097.19-2695.75 mg GAE/100 gr aralığında bulmuşlardır. Yapılan bir diğer çalışmada, en düşük toplam fenolik madde miktarı kızılçık örneklerinde su ekstraktında (439,85 mg GAE/100 g FW), en yüksek ise aseton ekstraktında (2979,25 mg GAE/100 g FW) tespit edilmiştir (Karaaslan ve ark., 2018).

Araştırmamız kapsamında ateş dikeni meyvesinin toplam fenolik madde içeriği 2555 mg GAE/100g olarak belirlenmiştir. Bu yabani meyve üzerine yapılan araştırmalarda ise bu parametre 113.79 mg GAE/100 g kuru madde (Brahmi & Karrou, 2016) ve 199.6 mg GAE/100 g taze meyve (Semerci ve ark., 2020) olarak bildirilmiştir.

Yabani meyve örneklerinin toplam fenolik madde içeriği istatistiksel açıdan p<0.01 seviyesinde önemli bulunmuştur.

3.2. Yabani Meyve Örneklerinin Antioksidan Kapasiteleri

Çalışılan meyvelerin antioksidan kapasitesi Tablo 4' de sunulmuştur. Ahlat, alıç, kızılçık ve ateş dikeni meyvelerinin antioksidan kapasiteleri sırasıyla DPPH metodunda %12.275, %22.754, %47.705 ve %83.134; CUPRAC metodunda 0.258, 0.619, 0.684 ve 2.871 mmol TE/g; ABTS metodunda %73.78, %49.33, %51.56, %79.34 ve β-karoten metodunda ise %93.63, %96.67, %88.70 ve %97.18 olarak belirlenmiştir. Antioksidan kapasite bakımından kıyaslandığında en yüksek değer ateş dikeni meyvesinde belirlenmiştir. Bunu sırasıyla kızılçık, alıç ve ahlat takip etmektedir. Literatürde bu meyvelerle yapılmış çalışmalar incelendiğinde elde edilen sonuçların literatürle uyumlu olduğu gözlenmiştir.

Okatan ve ark., (2017) Uşak'ta yetişen alıç türlerinin DPPH metoduna göre antioksidan kapasitesinin %19.24-59.24 arasında olduğunu bildirmişlerdir. Çalışkan ve ark., (2012) ise denemeye aldıkları alıç genotiplerinde antioksidan kapasitesinin (DPPH) %21.4-33.2 aralığında değiştiğini bildirmişlerdir. Araştırmamız kapsamında ise DPPH metoduna göre alıç meyvesinin antioksidan kapasitesi %22.75 olarak belirlenmiştir. Çalışmamızın sonuçları yapılan araştırmalarla benzerlik göstermektedir. Araştırmamız kapsamında kullandığımız ahlat meyvesinin antioksidan kapasitesi DPPH yöntemine göre, %12.75, CUPRAC metoduna göre 0,258 mmol TE/g, ABTS yöntemine göre 73.78 %TEAC, Beta karoten ağartma yöntemine göre %93.63 olarak tespit edilmiştir. Güdücü (2014) tarafından yapılan çalışmada, DPPH metoduna göre ahlat meyvesinin antioksidan kapasitesi meyvenin % etanol ekstraksiyonunda %56 olarak tespit edilmiştir. Sonuç olarak 1000 µg/mL konsantrasyon için aseton ekstraksiyonunda %89.23, metanol ekstraksiyonunda ise %26.59 değerlerine ulaşılmıştır. Murathan ve ark., tarafından

(2019) yürütülen bir araştırmada ise ahlat meyvesinin ahlatın antioksidan kapasitesini belirlemede ABTS metodu uygulanmış ve sonuç %48.2 olarak bildirilmiştir.

Çalışmamızda ateş dikenini meyvesinin antioksidan kapasitesi; DPPH metoduna göre 83.134 %TEAC, CUPRAC metoduna göre 2. 871 mmol TE/g, ABTS metoduna göre 79.34 %TEAC, Beta karoten %97.18 olarak belirlenmiştir. Yapılan bir araştırmada ateş dikenini meyvesinin etanol ve su ekstraktlarının antioksidan kapasitesi DPPH, CUPRAC ve ABTS yöntemleri kullanılarak tespit edilmiştir. Sonuçlar sırası ile meyvenin etanol ekstraktlarında 6.12 mg TE/g, 6.68 mg TE/g, 4.00 mg TE/g taze örnek; sulu ekstraktlarında 2.05 mg TE/g, 2.21 mg TE/g, 0.71 mg TE/g taze örnek olarak bildirilmiştir (Sarıkurkcu & Tepe, 2015). Başka bir çalışmada ise ateş dikeninin antioksidan kapasitesi ABTS metodu kullanılarak belirlenmiş ve sonuçlar etanol, su, metanol, aseton ve dietil eter çözümleri için sırasıyla %78.73, %27.62, %93.43, %81,18 ve %7.80 olarak saptanmıştır (Keser, 2014).

Hassanpour ve ark., (2011) İran'da yetişen kızılçık genotiplerinin antioksidan kapasitesini DPPH metodu ile belirlemişler ve tüm kızılçık genotiplerinin yüksek antioksidan kapasite sergilediklerini bildirmişlerdir. En yüksek antioksidan kapasitenin %82.37 değerinde olduğunu bunu %77,6 ve %76,32 değerlerinin takip ettiği bildirilmiştir.

Araştırılan 4 yabancı meyve örneğinin kullanılan 4 metoda göre antioksidan kapasite sonuçları istatistiksel açıdan $p < 0.01$ seviyesinde önemli bulunmuştur.

3.3. Yabancı Meyve Örneklerinin Fenolik Asit Profili

Örneklerin fenolik asit profilleri HPLC sisteminde tanımlanmış ve sonuçlar Tablo 5'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre alıç ve ahlat meyvelerindeki en baskın fenolik asit bileşeni sinapik asittir. Kızılçık meyvesinde ise dominant fenolik asit gallik asit olurken ateş dikenini meyvesinde sirinjik asit olmuştur. Yapılan analiz kapsamında tespit edilemeyen fenolik asit bileşenlerine bu tabloda yer verilmemiştir.

Literatürde bu konuda yapılmış çalışmalar mevcuttur. Bir çalışmada alıç meyvesinin fenolik profili belirlenmiş ve gallik asit, protokateşik asit, prosiyanidin B1, (+)-kateşin, prosiyanidin B2, (-)-epikateşin, klorojenik asit, kafeik asit, (-)-epigallokateşin gallat, rutin ve kamferol-3-glukozit konsantrasyonlarının sırasıyla 24.23, 37.13, 162.00, 231.00, 553.80, 994.10, 223.30, 21.60, 311.80, 765.30 ve 203.40 mg/kg taze ağırlık olduğu bildirilmiştir (Coklar ve ark., 2018). Baltaş ve ark., (2016) tarafından ahlat meyvesinin HPLC cihazıyla fenolik bileşenlerinin araştırıldığı bir çalışmada, bu meyvenin rutin ve kafeik asit bakımından zengin olduğu tespit edilmiştir. Yapılan bir araştırmada kızılçık meyvesinin fenolik profili incelenmiş ve 254 nm'de klorojenik asit, (+) – kateşin, (-) – epikateşin ve kafeik asit (sırasıyla 32.76, 37.06; 66.89 ve 27.12 mg/100 g taze ağırlık); 360 nm'de ise quercetin-3-O-glucuronide ve kaempferol-3-O-galactoside (sırasıyla 471.01 ve 366.88 mg/100 g TA) (Moldovan ve ark., 2016) tanımlanmıştır. Sarıkurkcu & Tepe (2015) tarafından yürütülen bir araştırmada ateş dikenini meyvesinin etanol ve su ekstraktlarına ait fenolik profilleri tespit edilmiştir. Meyvenin etanol ekstraktında (-)-epikateşin, kafeik asit, klorojenik asit, *p*-hidroksibenzoik asit, rutin, sirinjik asit ve vanilin (sırasıyla 38.94, 3.54, 7.97, 5.31, 87.62, 1.77 ve 6.20 µg/g taze ağırlık)

tespit edilirken, sulu ekstraktında (-)-epikateşin, kafeik asit, klorojenik asit, gallik asit, *p*-hidroksibenzoik asit, protokateşik asit, sirinjik asit, *trans*-sinapik asit ve vanilin (1.79, 2.98, 1.79, 0.60, 1.49, 1.79, 0.60, 0.60 ve 1.79 µg/g taze ağırlık) saptanmıştır.

Tablo 5. Fenolik asit içerikleri

	Fenolik Asitler	Alıkönma Süresi (dk)	Konsantrasyon (ppm)
Alıç	Gallik Asit	8.437	107.571
	Klorojenik Asit	21.207	63.643
	Vanilik Asit	22.272	2.051
	Kafeik Asit	22.680	33.560
	Sinapik Asit	35.967	139.517
Ahlat	Klorojenik Asit	21.203	65.196
	Vanilik Asit	22.251	0.064
	Kafeik Asit	22.677	30.171
Kızılçık	Sinapik Asit	35.994	136.337
	Gallik Asit	7.898	198.228
	Klorojenik Asit	21.196	63.342
	Vanilik Asit	22.334	2.229
	Kafeik Asit	23.111	43.042
Ateş Dikeni	Sinapik Asit	35.967	137.865
	Gallik Asit	8.381	155.054
	Klorojenik Asit	21.178	78.590
	Vanilik Asit	21.753	22.587
	Kafeik Asit	22.702	35.577
	Sirinjik Asit	23.134	393.618
	Sinapik Asit	36.344	140.101

4. Sonuç

Türkiye diyetlere dâhil edilebilen ve beslenme ile ilgili birtakım kaygıların çözümüne yardımcı olabilen sayısız yabancı meyve ve sebze türleri ile donatılmıştır. Bu çalışmada yabancı alıç, ahlat, kızılçık ve ateş dikenini meyvelerinin toplam fenolik madde içerikleri, fenolik asit profilleri ve antioksidan kapasiteleri çeşitli yöntemler ile belirlenmiştir.

Antioksidan kapasite sonuçlarına göre kullanılan 4 yöntemin tamamında en yüksek antioksidan değere ateş dikenini meyvesinin sahip olduğu belirlenmiştir. Ancak diğer üç meyve türünün antioksidan kapasite değerleri uygulanan yöntemlere göre farklılıklar arz etmiştir. Antioksidan kapasite sonuçlarındaki bu farklılığın her bir antioksidan maddenin farklı radikallere karşı farklı reaksiyon mekanizmasına sahip olmasının bir sonucu olduğu düşünülmektedir. Dolayısıyla antioksidan kapasite belirlenmesine yönelik araştırmalarda birden fazla yöntem kullanılması yararlı olacaktır. Antioksidan kapasite bakımından en yüksek değere sahip olan ateş dikenini meyvesi toplam fenolik madde içeriği açısından da en yüksek bulunmuştur. Fenolik asit profili sonuçlarına göre incelenen meyve örneklerinin tamamında vanilik asidin en düşük konsantrasyona sahip olduğu tespit edilmiştir. En yüksek fenolik asit ise meyveden meyveye farklılık arz etmiştir.

Araştırmanın sonuçları incelenen yabancı meyve türlerinin her birinin farklı özelliklere ve içeriklere sahip olduğunu göstermiştir. Bu farklılıkların nedeninin meyvelerin biyokimyasal özelliklerinin yanı sıra yetiştikleri iklimsel ortamlar ve topraktan kaynaklanabileceği de düşünülebilir.

Kaynakça

- Apak, R., Güçlü, K., Demirata, B., Özyürek, M., Çelik, S.E., Bektaşoğlu, B., Berker, K.I., & Özyurt, D. (2007). Comparative evaluation of various total antioxidant capacity assays applied to phenolic compounds with the CUPRAC assay. *Molecules*, 12:1496-1547.
- Aykut, K., & Konuklugil, B. (2018). *Cornus mas* L. ve fitoterapideki önemi. *J. Lit Pharm Sci.* 7(3): 185-193.
- Bahorum, T., Aumjaud, E., Ramphul, H., Rycha, M., Luximon-Ramma, A., Trotin, F., & Aruoma, O.I. (2003). Phenolic constituents and antioxidant capacities of *Crataegus monogyna* (Hawthorn) callus extracts. *Molecular Nutrition & Food Research*, 47(3):191-198.
- Baltas, N. (2017). Investigation of a wild pear species (*Pyrus elaeagnifolia* subsp. *Elaeagnifolia* Pallas) from Antalya, Turkey: polyphenol oxidase properties and anti-xanthine oxidase, anti-urease, and antioxidant activity. *International Journal of Food Properties*. Volume 20, 2017 Issue 3.
- Baltaş, N., Pakyıldız, S., & Kılıçkaya Selvi, E. (2016). Yabancı Bir Armut Türü Olan *Pyrus elaeagnifolia* subsp. *elaegnifolia* Pallas' ın Fenolik İçeriği, Antioksidan Özellikleri ve Bazı Enzimler Üzerine İnhibisyon Etkilerinin İncelenmesi. 16. Ulusal Kromatografi Kongresi (pp.62). Malatya, Turkey
- Brahamı, D., & Karrour, L. (2016). Etude comparative de deux procédés de séchage de *Pyracantha coccinea*. Université Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou, Faculté des Sciences Biologiques et Agronomiques, Département Biochimie et Microbiologie.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science and Technology*, 28, 25-30.
- Cemeroğlu, B. (2007). *Gıda analizlerinde genel yöntemler*, Gıda Analizleri, s. 45-128, Bizim Büro Basımevi, Ankara.
- Chang, Q., & Zuo, Z. (2002). Hawthorn. *The Journal of Clinical Pharmacology*, 42, 605-612.
- Coklar, H., Akbulut, M., Kılınc, S., Yıldırım, A., & Alhassan, I. (2018). Effect of freeze, oven and microwave pretreated oven drying on color, browning index, phenolic compounds and antioxidant activity of hawthorn (*Crataegus orientalis*) Fruit. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 46(2):449-456.
- Cosmulescu, S., Trandafir, I., & Nour, V. (2017). Phenolic acids and flavonoids profiles of extracts from edible wild fruits and their antioxidant properties, *International Journal of Food Properties*, 20:12, 3124-3134.
- Çakılcıoğlu, U., Şengün, M.T., & Türkoğlu, D. (2010). An ethnobotanical survey of medicinal plants of Yazıkonak and Yurtbaşı districts of Elazığ province, Turkey. *Journal of Medicinal Plants Research*, 4, 7, 567-572.
- Çakır, Ö., & Akbulut, K. (2020). Comparison of Two Wild Grown *Berberis* Varieties Based on Biochemical Characterization. *Journal of Food Processing and Preservation*. Volume 44, Issue: 11.
- Çalışkan, O., Gündüz, K., Serçe, S., Toplu, C., Kamiloğlu, Ö., Sengül, M., & Ercisli, S. (2012). Phytochemical characterization of several hawthorn (*Crataegus* spp.) species sampled from the Eastern Mediterranean region of Turkey. *Pharmacognosy Magazine*, 8(29):1-16.
- Çoklar, H., & Akbulut, M. (2016). Alıç (*Crataegus orientalis*) meyvesinin antioksidan aktivitesi ve fenolik bileşiklerinin ekstraksiyonu üzerine farklı çözümlerin etkisi. *Derim*, 33(2), 237-248.
- Çöteli, E., & Karataş, F. (2017). Ateş Dikeninin (*Pyracantha coccinea* Roemer var. *lalandi*) Kırmızı Meyvelerindeki A, E, C Vitamini, β -Karoten, Likopen, Glutasyon ve Malondialdehit Miktarlarının Araştırılması. *Fırat Univ. Journal of Science* 29(1), 41-46.
- Ercisli, S., Yanar, M., Sengul, M., Yıldız, H., Topdas, E. F., Taskin, T., Zengin, Y., & Yilmaz, K.U. (2015). Physicochemical and biological activity of hawthorn (*Crataegus* spp. L.) fruits in Turkey. *Acta Scientiarum Polonorum-Hortorum Cultus*, 14(1):83-93.
- Fico, G., Bilia, A. R., Morelli, I., & Tome, F. (2000). Flavonoid distribution in *Pyracantha coccinea* plants at different growth phases. *Biochemical Systematics and Ecology*, 28(7):673-678.
- Gill, M., Barberan, T., Pierce, B.H., Holcroft, D.M., & Kader, A.A. (2000). Antioxidant activity of pomegranate juice and its relationship with phenolic composition and processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48:4581-4589.
- Güdücü, F. (2014). *Pyrus elaeagrifolia* bitkisi ekstraktlarının fenolik madde içerikleri, DPPH radikali giderme aktiviteleri ve in vitro antimikrobiyal etkilerinin belirlenmesi. Master's thesis, Trakya Üniversitesi.
- Hassanpour, H., Hamidoghli, Y., Hajilo, J. & Adlipour, M. (2011). Antioxidant capacity and phytochemical properties of cornelian cherry (*Cornus mas* L.) genotypes in Iran. *Scientia Horticulturae*. Vol. 129; pp. 459-463.
- Karaaslan, M.G., Karaaslan, N.M., & Ates, B. (2018). Investigation of Mineral Components and Antioxidant Properties of a Healthy Red Fruit: Cornelian Cherry (*Cornus mas* L.). *JOTCSA*. 5(3):1319-26.
- Kaur, C., & Kapoor, H.C. (2002). Anti-oxidant activity and total phenolic content of some Asian vegetables. *International Journal of Food Science and Technology*. 37(2): 153-161.
- Keser, S. (2014). Antiradical activities and phytochemical compounds of firethorn (*Pyracantha coccinea*) fruit extracts. *Natural Product Research*, 28(20): 1789-1794.
- Kökosmanlı, M., & Keleş, F. (2000). Erzurum'da yetiştirilen kızılçık meyvesinin marmelat ve pulpa işlenerek değerlendirilmesi. *Gıda*, 25(4), 289-298.
- Murathan, Z.T., Erbil, N., Düzgüner, V., & Arslan, M. (2019). Şakok Armudunun (*Pyrus elaeagnifila* pallas) antioksidan, antimikrobiyal ve mutajenik özelliklerinin incelenmesi. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(1): 447-456, ISSN: 1307-9085, e-ISSN: 2149-4584.
- Okatan, V., Gündoğdu, M., & Çolak, A.M. (2017). Uşak'ta yetişen farklı alıç (*Crataegus* spp.) genotipi meyvelerinin bazı kimyasal ve pomolojik karakterlerinin belirlenmesi. *Iğdır Univ. J. Inst. Sci. & Tech.* 7(3):39-44.
- Oliveira, E.G., Rosa, G. S., Moraes, M.A., & Pinto, L.A. (2008). Phycocyanin content of *Spirulina platensis* dried in spouted bed and thin layer. *Journal of Food Process Engineering*, 31:34-50.
- Özcan, M., Haciseferoğulları, H., Marakoğlu, T., & Arslan, D. (2005). Hawthorn (*Crataegus* spp.) fruit: some physical and chemical properties. *Journal of Food Engineering*, 69, 409-415.
- Öztürk, N., Tunçel, M., & Tuncel, N.B. (2007). Determination of phenolic acids by a modified HPLC: Its application to

- various plant materials. *Journal of Liquid Chromatography and Related Technologies*, 30: 587-596.
- Rimm, E.B., Aschiero, A., Giovannucci, E., Spiegelman, D., Stampfer, M.J., & Willett, W. C. (1996). Vegetables, fruit, and cereal fiber intake and risk of coronary heart disease among men. *J. Am. Med. Assoc*, 275, 447-451.
- Sarikurku, C., & Tepe, B. (2015). Biological activity and phytochemistry of firethorn (*Pyracantha coccinea* MJ Roemer). *Journal of Functional Foods*, 19, 669-675.
- Semerci, A.B., Tunç, K., & Okur, İ. (2020). Antioxidant activity of the fruits of *Pyracantha coccinea* using ethanolic extract method. *Food and Health*, 6(1), 35-40.
- Singleton, V.L., & Rossi, J.A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16, 144-158.
- Terry, P., Terry, J.B., & Wolk, A. (2001). Fruit and vegetable consumption in the prevention of cancer: an update. *J. Intern. Med.* 250, 280-290.
- Tural, S., & Koca, I. (2008). Physico-chemical and antioxidant properties of cornelian cherry fruits (*Cornus mas* L.) grown in Turkey. *Scientia Horticulturae*, 116, 362-366.
- Vinson, J., Su, X., Zubik, L., & Bose, P. (2001). Phenol antioxidant quantity and quality in foods: fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(11):5315-21. DOI: 10.1021/jf0009293.
- Yigit, D. (2018). Antimicrobial and Antioxidant Evaluation of Fruit Extract from *Cornus mas* L. Aksaray. *J. Sci. Eng.* Volume 2, Issue 1, pp. 41-51 doi: 10.29002/asujse. 329856.
- Yilmaz, K. U., Ercisli, S., Cam, M., Uzun, A., Yilmaztekin, M., Kafkas, E., & Pınar, H. (2015). Fruit weight, total phenolics, acidity and sugar content of edible wild pear (*Pyrus elaeagnifolia* pall.) fruits. *Erwerbs-Obstbau*, 57: 179.
- Ziegler, R. G. (1991). Vegetables, fruits and carotenoids and the risk of cancer. *Am. J. Clin. Nutr.*, 53, 251-259.



Geochemistry of Volcanic Rocks (Yüksekova Complex) around Uslu (S Elazığ)

Melek Ural^{1*}, Ayşe Cihan²

^{1*} Firat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-4174-6058), melekural@firat.edu.tr

² Firat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-9083-2529), 171116104@firat.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 16 Eylül 2020 ve Kabul Tarihi 16 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.796129)

ATIF/REFERENCE: Ural, M., Cihan, A. (2021). Geochemistry of Volcanic Rocks (Yüksekova Complex) around Uslu (S Elazığ). *European Journal of Science and Technology*, (21), 198-206.

Abstract

The study area is located approximately 50 km south of Elazığ city within the Southeastern Anatolian Orogenic Belt (SEAOB). In the area, the volcanic rocks of the Upper Cretaceous Yüksekova Complex were tectonically overlain by mantle cumulates consisting of harzburgite, dunite and lherzolites belonging to the Late Cretaceous aged Kömürhan Ophiolites. The Yüksekova Complex unconformably overlies the Permo-Triassic Pütürge Metamorphics and in places has tectonic contact. The volcanic rocks around Uslu (S Elazığ) are massive lavas and have basaltic composition. Mineralogically and texturally recognizable lavas are rich in plagioclase and opaque oxide minerals. Secondarily, calcite mineral is dominant. Amygdaloidal textures are common. According to the trace element distributions of the rock samples normalized to N-OOSB; LIL elements are enriched according to HFS elements. LREEs, on the other hand, show a richer distribution than HREEs. As a result; the geochemical data together with previous studies point to the rifting of the oceanic arc, which reveals that the volcanic facies outcropping around Uslu have no genetic relationship with the Maden Complex.

Anahtar Kelimeler: Uslu (S Elazığ), Yüksekova Karmaşığı, Massive lava.

Uslu (Elazığ G) Çevresindeki Volkanik Kayaçların (Yüksekova Karmaşığı) Jeokimyası

Öz

Çalışma alanı, Güneydoğu Anadolu Orojenik Kuşağı (GDAOB) içerisinde, Elazığ ili'nin yaklaşık 50 km güneyinde yer almaktadır. Çalışma alanında, Üst Kretase yaşlı Yüksekova Karmaşığı volkanosedimanları, olasılıkla Mesozoik sonlarında Kömürhan Ofiyolitleri'ne ait harzburgit, dünit ve lherzolitlerden oluşan manto kümülatları tektonik olarak üzerlenmiştir. Yüksekova Karmaşığı, Permo-Triyas yaşlı Pütürge Metamorfikleri üzerinde yer yer uyumsuzlukla yer alırken, yer yer de tektonik dokanaktır. Uslu (Elazığ G) çevresindeki volkanik kayaçlar, masif lavlardır ve bazaltik bileşimlidir. Mineralojik ve dokusal açıdan tanınabilen volkanik kayaçlar plajiyoklas ve opak oksit mineralleri bakımından zengindir. İkincil olarak kalsit minerali baskındır. Amigdaloidal doku yaygındır. Kayaç örneklerinin N-OOSB'ye göre normalize edilmiş iz element dağılımlarına göre; LIL elementler, HFS elementlerine göre; Hafif Nadir Toprak Elementler (HNTE) ise Ağır Nadir Toprak Elementler (ANTE)' göre daha zengin bir dağılım gösterirler. Sonuç olarak; jeokimyasal veriler, okyanusal yayın açılmasına işaret etmektedir ki bu durum önceki verilerle birlikte değerlendirildiğinde, Uslu çevresinde yüzeyleyen volkanikli fasiyeslerin Maden Karmaşığı ile kökensel bir ilişkisinin olmadığını ortaya koyar.

Keywords: Uslu (S Elazığ), Yüksekova Complex, Masif lav.

* Sorumlu Yazar: melekural@firat.edu.tr

1. Giriş

Çalışma alanı Elazığ İli'nin yaklaşık 50 km güneyinde yer alır (Şekil 1a,b,c). Güneydoğu Anadolu Orojenik Kuşağı (GDAO) içerisinde yer alan ve Elazığ çevresindeki yaygın yüzlekleriyle dikkat çeken Yüksekova Karmaşığı birimi, son yıllarda jeolojik, jeokimyasal, yaş ve kökensel özellikleriyle diğerlerinden ayırtlanmıştır (Ural, 2012; Ural vd., 2014; 2015; Tekin vd., 2015). Hakkâri ili Yüksekova ilçesi civarındaki okyanusal kökenli yay birimlerini "Yüksekova Karmaşığı" olarak tanımlayan Perinçek (1979b), Elazığ civarındaki Üst Kretase yaşlı kırmızı-yeşil kireçtaşı, şeyl, kumtaşı, volkanik kumtaşı, tüf, aglomera, bazalt, diyabaz, gabro, serpantin, granit ve granodiyorit olarak ayırtlanan litolojiler için de bu adı kullanmıştır. Daha sonraki yıllarda bir çok araştırmacı Elazığ ve çevresindeki yüzleklerinde birimin, Yüksekova Karmaşığı'na eşdeğer olduğunu belirterek bu adı kullanmaya devam etmişlerdir (Naz, 1979; Perinçek, 1980a,b; Perinçek ve Özkaya, 1981; Bingöl, 1982; 1984, 1988; Perinçek ve Kozlu, 1984; Özkul, 1982; Turan, 1984; Sungurlu vd., 1985; Tatar, 1987; Akgül, 1987, 1993; Aksoy, 1993; Aydoğdu, 1991; Gürocak, 1993; Aksoy ve Tatar, 1990; Aksoy ve Çelik, 1995; Aksoy ve Turan, 1997; Özdemir, 2016; Ural, 2012; Tekin vd., 2015; Ural vd., 2015; 2019; Rolland vd., 2019; Sar, 2016; Sar vd., 2019). Diğer taraftan, Baskil civarındaki magmatik birimler kıtasal yay özellikteki Baskil Magmatitleri olarak Yazgan (1984), Asutay (1985), Rızaoğlu vd. (2006) gibi araştırmacılar tarafından ayırtlanırken; Turan ve Bingöl (1991), Bingöl ve Beyarslan (1996) gibi bazı araştırmacılar, Elazığ civarında yüzeyleyen tüm plütonik, subvolkanik ve volkanik birimleri; esasında kıtasal kökenli olan Baskil Magmatitleri'nin plütonikleri ile okyanusal kökenli volkanosedimanter oluşumlardan müteşekkil Yüksekova Karmaşığı'nın aynı ve tek bir yitimle gelişen ürünleri olarak 'Elazığ Magmatitleri' adı altında yersel bir tanımlamaya gitmişlerdir. Bu çalışmada ise; okyanusal yay karakterinde ve Perinçek (1979a,b) tarafından Elazığ civarındaki okyanusal yay ürünleri için kullanılan Yüksekova Karmaşığı'nın, kıtasal özellikteki Baskil Magmatitleri'nden farklı olduğu ilkesinden ve yersel adlanmanın sakıncalarından hareketle 'Yüksekova Karmaşığı' adı benimsenmiş ve kullanılmıştır.

Birimi ilk defa tanımlayan Perinçek (1979a) ve Tuna (1979), Elazığ-Palu-Kovancılar bölgelerinde yapmış olduğu çalışmalarda, piroklastikler içerisindeki kırmızı mikritik kireçtaşlarındaki fosillerden hareketle birime, Kampaniyen-Maastrichtiyen yaşını vermişlerdir. Perinçek (1980a) ise, birimin yaşını Senomaniyen-Alt Maastrichtiyen olarak belirlemiştir. Turan ve Bingöl (1991) de karmaşık içerisindeki tortullardan alınan örneklerde saptanan fosilleri baz alarak birimin yaşını geniş aralıkta 'Senomaniyen' olarak kabul etmişlerdir. Herece vd. (1992) de bazaltlar içindeki pelajik kırmızı kireçtaşlarından Üst Santoniyen-Alt Kampaniyen ve Alt Maestrihtiyen yaşları elde etmişlerdir. Hempton ve Savcı (1982), Hempton (1985), Uluova fay zonu kuzeyinde kırmızı renkli killi kireçtaşlarından Santoniyen-Alt Kampaniyen ve Alt Maestrihtiyen yaşlı fosillerin bulunduğunu belirtirken; Herece vd. (1992) de Üst Maestrihtiyen ve Paleosen neritik kireçtaşlarının bunlar üzerine transgresif açılmal uyumsuzlukla yerleştiğini buna göre de birimin yaşının Tersiyer'e çıkmadığını ifade etmiştir.

Son yıllarda pelajik sedimanları dikkatli bir şekilde ele alan bazı araştırmacılar, Elazığ çevresinde Yüksekova Karmaşığı'nın volkanitleriyle orijinal ilişkili sedimanlardaki radyolaryalı çörtler (Ural, 2012; Tekin vd., 2015) ile mikritik kireçtaşlarından (Ural

ve Kaya, 2019; Ural ve Sarı, 2019) elde edilen yaş verilerine dayanarak Geç Kretase dönemine işaret ederler. Aynı zamanda Bitlis-Zagros suture zonunun Türkiye-İran sınırındaki en genç kabuksal volkanik kayalar oluşturduğu kabul edilen Yüksekova Volkanik kayaları ada yayı ve yay ardı karakterinde Geç Kretase yaşlı radyolaryalı çörtlerden oluşurlar (e.g. Tekin vd., 2015; Ural vd., 2015; Göncüoğlu vd., 2015; Göncüoğlu, 2019).

2. Materyal ve Metot

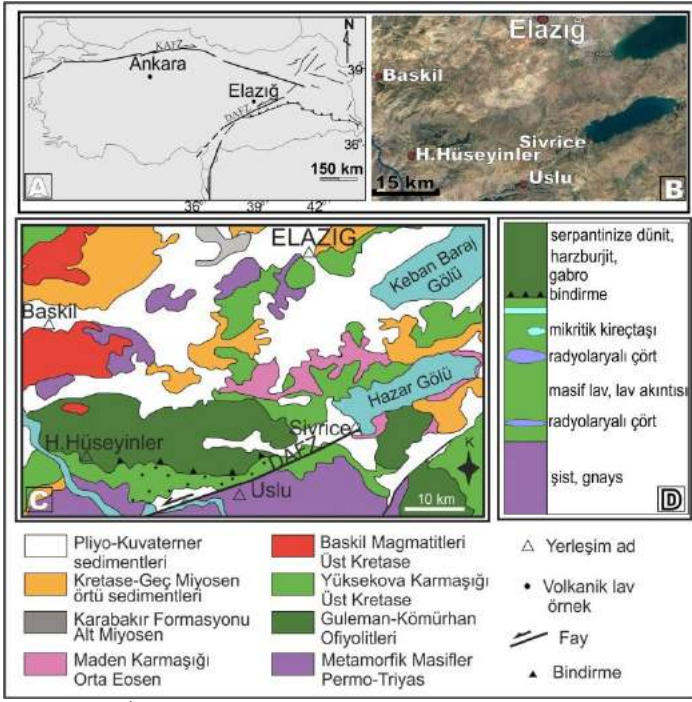
Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen arazi çalışmasında, Uslu köyü çevresindeki volkanik kayaların jeolojik özellikleriyle birlikte, yaklaşık 25 adet örnek alımı gerçekleştirilmiştir. Sözkonusu volkanik kayaç örnekleri, Fırat Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği laboratuvarında plakalar şeklinde kestirilerek ince kesitler yapılmıştır. Daha sonra ince kesitler Leica marka polarizan mikroskop altında incelenmiş ve mikroskobik görüntüleri alınmıştır. Bu incelemeler sonucunda kayaçların mineralojik ve dokusal özellikleri ile kayaç sınıflamaları yapılmıştır. Petrografik gözlemler sonucunda tüm tanesine ait tüm kayaç ana oksit, iz ve nadir toprak element analizleri yaptırılmak üzere ACME Analitik Laboratuvarları'na (Kanada) gönderilmiştir. Ana oksitler, ICP-AES (indüktif coupled plasma-atomic emission spectrometresi), iz ve nadir toprak element analizleri ise ICP-MS (inductively coupled plasma-mass spectrometry) ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen analiz sonuçları çeşitli grafik programları yardımıyla grafiklere dökülmüş ve elde edilen bulgular önceki çalışmalar ışığında değerlendirilmiştir.

3. Bulgular

3.1. Jeoloji ve Stratigrafi

Güneyde Gondwana kuzeyde Lawrasya arasında yer alan Türkiye sayısız kıta parçalarından oluşmaktadır. Alpin orojenezi etkisinde gerçekleşen Neotetis okyanusunun kapanması süreci okyanusal ve kıtasal terranların dağılımını kontrol etmiştir (Göncüoğlu vd., 1997). Farklı yığışım birimlerinin yer aldığı inceleme alanında başlıca Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı Pütürge Metamorfileri, Üst Kretase yaşlı Yüksekova Karmaşığı, Geç Kretase yaşlı Kömürhan Ofiyolitleri gözlenir (Şekil 1, 2). Bu birimlerin Güney neotetis okyanusunun Mezozoyik sonunda ve erken Tersiyer döneminde kapanmasıyla oluştuğu kabul edilir (Robertson vd., 2007; Göncüoğlu vd., 2010).

İnceleme alanının ve Elazığ ili batısındaki ofiyolitlere ait volkanik kayaların (Yüksekova Karmaşığı) diğer ofiyolitik birimlerle tektonik dokanıklı ve toleyitik karakterli oldukları kabul edilir (Rızaoğlu vd., 2006; Ural vd., 2015). İnceleme alanındaki volkanik kayalar da, Kömürhan Ofiyolitleri'nin manto kayalarınca tektonik olarak üzerlenmektedir. Güzel (1997) bu alandaki volkanosedimanların çamurtaşları, daha yaşlı birimlere ait olistolitik bloklar, diyabaz, bazalt ve andezitlerle temsil olduğunu belirtir. Uslu çevresindeki masif lavlar, Permo-Triyas Pütürge Metamorfileri'ne ait birimleri açılmal uyumsuzlukla örtmektedir (Şekil 2). Gri renkli lavlar, yer yer metresel pelajik kireçtaşlarıyla birincil stratigrafik ilişki gösterirler. Lavlar, Maastrichtiyen sonrası yerleşmeler ve tektonik hareketlere bağlı olarak yer yer ezilme, parçalanma ve şistozite benzeri görünüm sergilerler (Şekil 2, Şekil 3a-d).



Şekil 1. İnceleme alanının; **A)** Türkiye'deki konumu, **B)** yer bulduru haritası, **C)** basitleştirilmiş jeoloji haritası (Çelik, 2013'den sadeleştirilerek revize edilmiştir), **D)** İnceleme alanının basitleştirilmiş tektonostratigrafik kesiti.

Elazığ ili çevresinde yaygın bir şekilde yüzeyleyen birim, genel olarak tabandan tavana doğru diyabazlar, yastık lavlar ile bazaltik lav akıntıları ile bunların üzerine gelen volkanoklastitlerden oluşmaktadır (Ural, 2012). Birim bu özelliklerinin yanısıra Elazığ çevresinde yaygın bir şekilde pelajik sedimanlardan oluşan tortul kaya birimi de ihtiva etmektedir.

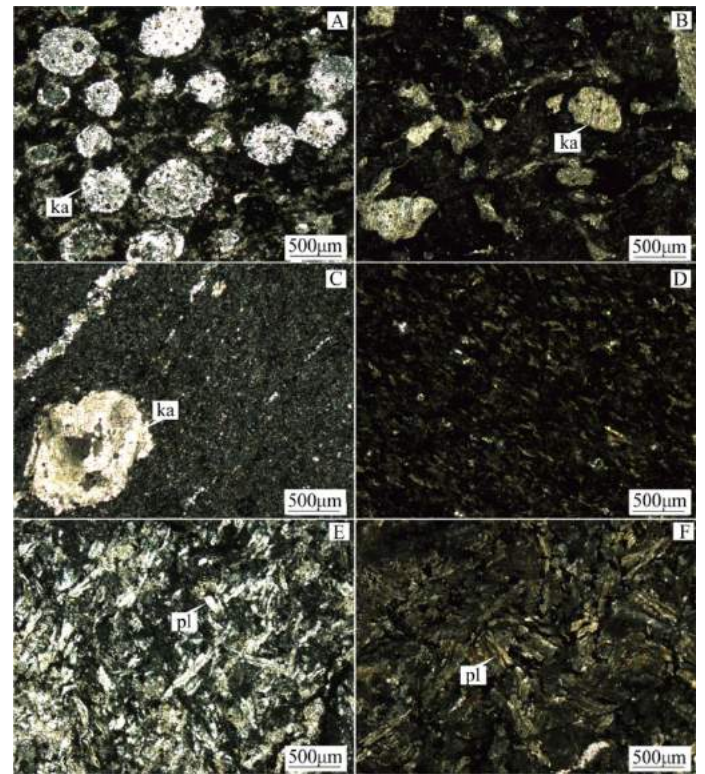


Şekil 2. a) 1-1.5 metreye varan kalınlıktaki çört bantlarıyla ara katkılı volkanitler. Kayabağlar-Gözeli arası, Yürekaya dolayları, Bakış yönü: 135°, **b)** İnceleme alanında pelajik kireçtaşlarıyla ara katkılı volkanitler. Kalaba çıkışı. Bakış yönü: 40°, **c)** Mikritik kireçtaşı arakatkılı, pembemsi renkli masif yapılu volkanitler, Duygulu-Gözeli arası. Bakış yönü: 170°, **d)** Pembe renkli masif yapılu volkanitler. Taşhyayla civarı.

Uslu çevresindeki volkanosedimanterler daha önceki çalışmalarda Maden Karmaşığı'nın volkanik fasiyesi olarak belirtilmiştir (Erdem, 1994; Yazgan vd., 1987; Beyarslan, 1996; Ertürk, 2016; Köküm, 2017; Akgün, 2020).

3.2. Petrografi

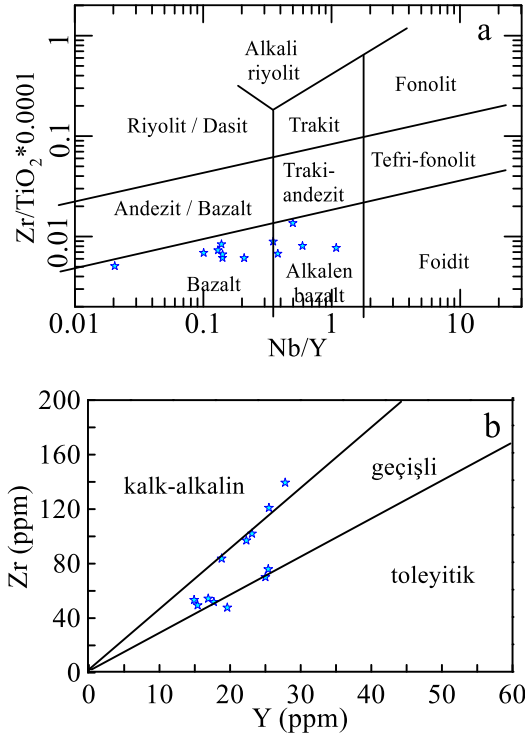
İnceleme alanındaki kayalar yoğun bir şekilde killeşme, karbonatlaşma, opaklaşma ve serisitleşme gibi alterasyonlara maruz kalmışlardır (Şekil 3 A-F). Alterasyon hem cam hem de minerallerden itibaren gelişmiştir. Bu nedenle mikroskop altında esas bileşenlerden sadece plajiyoklaslar tanımlanmaktadır. Bu kayalar çoğunlukla camsı bir hamur içerisinde dağılmış kristaller halinde, kısmen de daha iri kristalli diyabaz benzeri bir dokusal özellik gösterirler. İkincil minerallerin doldurduğu amigdaloidal dokular da oldukça yaygındır. Hiyalomikrolitik ve amigdaloidal dokular yaygındır (Şekil 3 A-F).



Şekil 3. İncelenen kayaların mikroskop görüntüleri, **A, B, C)** Amigdaloidal bazalt, **D)** Hiyalomikrolitik porfirik dokulu bazalt, **E, F)** Doleritik dokulu bazalt (Ç.N.; pl: plajiyoklas, ka: kalsit).

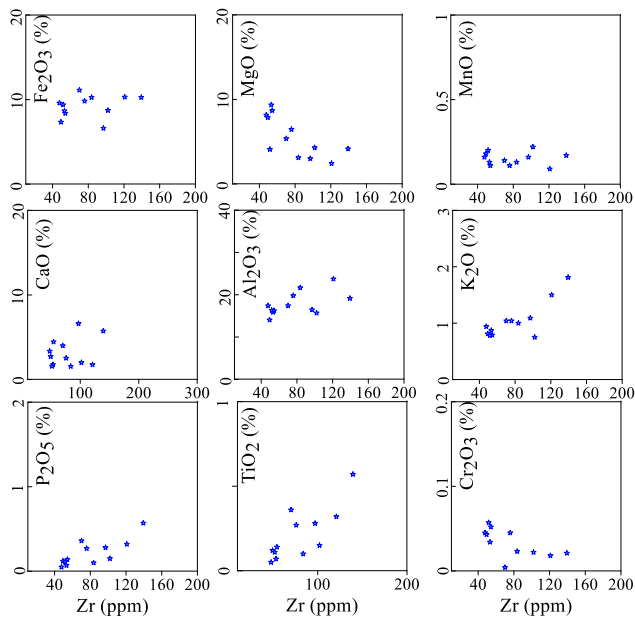
3.3. Jeokimya

Uslu civarında (Elazığ G) yüzeyleyen volkanik kayalar bazalt ve alkalin bazalt bileşiminde ve toleyitik-kalkalkalen geçişli özelliktedir (Tablo 1; Şekil 4a,b). Bu kayaların ana oksit içerikli; SiO₂ 43.14-59.36; Al₂O₃ 14.15-23.65, K₂O 0.47-6.17, TiO₂ 0.69-1.81, MgO 3.01-9.24, Cr₂O₃ <0.002-0.04, Fe₂O₃, 6.71-11.02, MnO 0.10-0.23, CaO 2.92-17.16 aralığında değişmektedir. Kayalarda, jeokimyasal değerlendirmelerin daha doğru yapılabilmesi için hareketsiz olarak kabul edilen (Hastie vd., 2007; Winchester ve Floyd, 1977; Pearce, 2008; Şekil 4, Şekil 8) element bazlı diyagramlar kullanılmıştır.

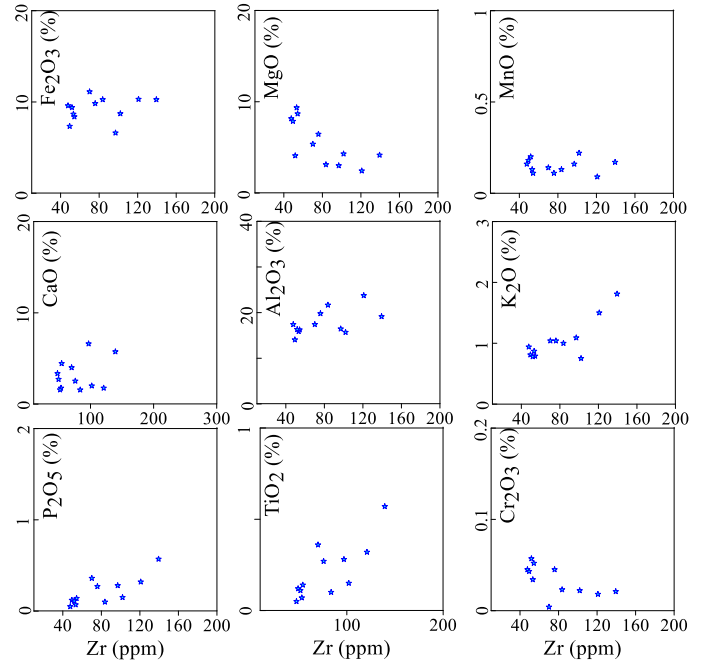


Şekil 4. İncelenen volkanik kayaların **a)** Nb/Y-Zr/TiO₂*0.0001 diyagramındaki (Winchester ve Floyd, 1977) dağılımları, **b)** Zr'a karşı Y diyagramındaki (Barrett ve MacLean, 1997; Ross ve Bedard, 2009 tarafından revize edilmiştir) konumları.

İkili jeokimyasal değişim diyagramlarında x ekseninde hareketsiz elementlerden Zr, y ekseninde çeşitli ana oksit ve iz elementlerle karşılaştırılmıştır (Şekil 5,6). Buna göre; Zr ile Al₂O₃, K₂O, P₂O₅, TiO₂ ile pozitif; MgO, Cr₂O₃ ile negatif korelasyon sergilerken, Fe₂O₃, MnO, CaO ile ise belirgin olmayan dağılım gösterirler (Şekil 5). Diğer taraftan Zr ile Y, Th, Hf, Sm doğrusal pozitif; Ni, Sc ise doğrusal negatif korelasyon; La, Rb, Ba ise doğrusal olmayan pozitif dağılımlar sergilerler (Şekil 6).

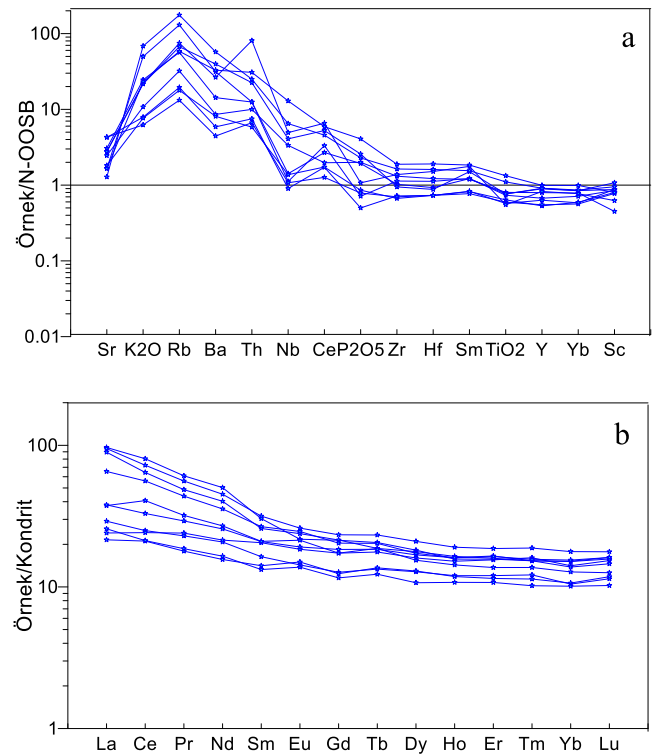


Şekil 5. Zr elementinin ana oksitlere karşı çizilmiş ikili değişim diyagramları.



Şekil 5. Zr elementinin ana oksitlere karşı çizilmiş ikili değişim diyagramları.

İncelenen volkanik kayaç örneklerinin N-tipi Okyanus Ortası Sırtı Bazaltına (N-OOSB) normalize edilmiş iz element dağılımlarına göre büyük iyon yarıçaplı (Light Ion Lithophile-LIL) elementler (Sr, K, Rb, Ba ve Th) tüm örneklerde yüksek alan gerilmeli (YAG) elementlere (Ta, Nb, Hf, Zr, Y, Ti) göre genel olarak zenginleşmişlerdir (Şekil 7a,b).



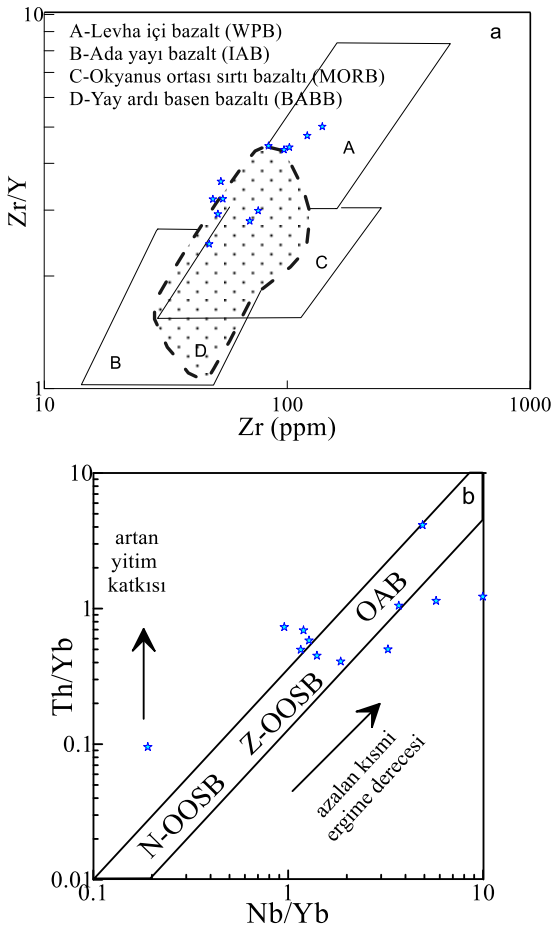
Şekil 7. İncelenen volkanik kayaların, **a)** N-OOSB ve **b)** C1-Kondrite göre normalize edilmiş örümcek diyagramları. Normalize değerler, Sun ve McDonough (1989)'dan alınmıştır.

Tablo 1. İncelenen kayaçların tüm kayaç ana oksit, iz ve nadir toprak element değerleri. AK: Ateşte kayıp.

	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9	U10	U11	U12
SiO₂	46.63	43.14	51.08	59.36	45.41	49.50	41.53	44.25	51.39	45.19	48.99	47.69
Al₂O₃	17.30	16.22	16.43	15.79	18.50	16.38	14.15	16.20	20.76	19.79	19.24	23.64
Fe₂O₃	11.02	8.37	6.71	8.82	9.69	8.77	7.44	9.29	10.36	9.73	10.16	10.20
MgO	5.37	8.58	3.01	4.28	8.24	9.24	7.76	4.10	3.12	6.35	4.17	2.42
CaO	6.52	9.23	7.39	2.97	9.78	6.83	13.52	17.16	3.10	7.01	2.92	3.01
Na₂O	4.01	4.46	6.62	2.01	3.36	1.77	2.73	1.58	1.57	2.43	5.64	1.77
K₂O	1.97	1.22	0.96	1.97	0.47	0.72	0.70	0.66	4.49	2.22	2.09	6.17
TiO₂	1.06	0.69	1.10	0.77	0.96	0.88	0.82	0.79	1.01	1.05	1.81	1.60
P₂O₅	0.38	0.15	0.29	0.16	0.06	0.08	0.13	0.12	0.11	0.28	0.58	0.33
MnO	0.15	0.12	0.17	0.23	0.17	0.14	0.19	0.21	0.14	0.12	0.18	0.10
Cr₂O₃	0.01	0.053	<0.002	0.024	0.046	0.035	0.044	0.058	0.024	0.04	0.022	0.019
Ni	66	154	21	110	196	131	132	109	105	122	85	73
Sc	44	29	19	24	39	31	30	34	33	36	33	37
A.K	5.1	8.5	6.1	3.6	4.3	6.2	10.9	5.3	4.0	5.3	3.3	3.9
Toplam	99.89	99.82	99.98	99.78	99.80	99.77	99.80	99.84	99.87	99.81	99.83	99.85
Ba	253	33	53	166	22	36	50	27	198	91	208	362
Cs	1.4	0.3	1.3	0.8	0.2	0.4	0.4	0.4	1.0	0.7	1.2	1.8
Ga	14.3	12.6	10.0	16.0	12.0	13.0	13.0	18.0	17.0	17.0	12.0	20.0
Hf	1.9	1.7	2.6	3.2	1.3	1.5	1.5	1.6	2.3	2.0	4.0	3.4
Nb	9.4	1.8	7.7	12.0	0.4	2.0	3.3	2.5	2.7	3.3	31.0	15.0
Rb	37.8	11.4	17.0	42.0	4.0	11.0	10.0	7.3	73.0	32.0	33.0	97.0
Sr	249.1	146.0	221.0	252.0	231.0	384.0	163.0	388.0	149.0	275.0	150.0	116.0
Ta	0.3	0.2	0.4	0.9	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.2	2.1	1.2
Th	2.8	1.4	1.3	9.8	<0.2	0.9	0.8	0.9	1.6	1.6	3.8	3.1
V	254	192	135	202	184	170	204	326	58	234	198	145
Zr	70.3	53.0	98.0	103.0	48.0	54.0	50.0	52.0	84.0	76.0	140.0	121.0
Y	26.0	17.0	23.0	23.0	20.0	15.0	15.0	18.0	19.0	25.0	28.0	26.0
La	21.30	6.8	4.7	22.8	1.3	5.2	6.3	3.8	8.8	9.01	22.6	15.6
Ce	38.4	15.2	15.0	49.1	4.6	12.8	13.0	9.4	25.0	20.0	44.0	34.3
Pr	4.59	2.20	2.31	5.81	0.92	1.71	1.78	1.45	3.05	2.77	5.40	4.19
Nd	18.9	9.8	11.0	24.0	5.2	7.2	7.6	7.0	12.5	11.0	20.1	16.8
Sm	3.97	2.49	3.13	4.66	1.98	2.17	2.04	2.19	3.22	3.21	4.85	4.09
Eu	1.39	0.84	1.08	1.27	0.90	0.88	0.81	0.82	1.23	1.14	1.49	1.44
Gd	4.40	2.60	3.55	4.40	2.72	2.56	2.40	2.55	3.56	3.79	4.79	4.20
Tb	0.71	0.51	0.65	0.78	0.55	0.49	0.45	0.49	0.69	0.70	0.88	0.77
Dy	4.50	3.24	4.08	4.63	3.57	3.30	2.71	3.08	3.93	4.30	5.31	4.40
Ho	0.92	0.67	0.85	0.91	0.77	0.68	0.62	0.66	0.83	0.92	1.09	0.90
Er	2.63	2.01	2.56	2.50	2.37	1.89	1.80	1.86	2.26	2.73	3.10	2.69
Tm	0.41	0.30	0.39	0.40	0.36	0.30	0.27	0.31	0.36	0.40	0.50	0.39
Yb	2.56	1.77	2.39	2.36	2.12	1.79	1.73	1.80	2.18	2.59	3.01	2.62
Lu	0.39	0.30	0.40	0.38	0.35	0.29	0.27	0.29	0.31	0.39	0.46	0.39

YAG elementler normal okyanus ortası sırtı bazalt (N-OOSB) çizgisine paralellik göstermekle birlikte; Ce, Zr, Hf, Sm gibi uyumsuz elementler N-OOSB'ye göre daha fazla zenginleşmişlerdir (Şekil 7a). Pozitif Ce anomalisi yanında, TiO₂ ve Nb anomalilerinin zayıf olması ya da olmayışı dalan kabuktan salınan malzeme katkısının fazla olmadığına işaret eder (Şekil 7a). Kayaç örneklerinin, kondrite göre normalize edilmiş nadir toprak element desenleri ise; yukarı konkavdır (La_N/Sm_N: 0.25-2.42; La_N/Lu_N: 0.05-0.83) (Şekil 7b). Kondrite oranla yaklaşık 10 ila 100 kata kadar zenginleşme gözlenmektedir.

İncelenen kayaçların, Pearce ve Norry (1979)'ye göre, yay ardı havza ve levha içi bazalt alanında; Pearce (2008)'in Nb/Yb'a karşı Th/Yb diyagramında ise OOSB-OAB dizisi içerisinde yer alması (Şekil 8a,b), bu örnekleri veren magmanın kısmi ergime derecesinin azalmasıyla birlikte, yitim katkısının daha az olduğu tektono-magmatik bir ortama işaret eder.



Şekil 8. İncelenen kayaçların a) Zr – Zr/Y (Pearce and Norry, 1979), b) Nb/Yb – Th/Yb (Pearce, 2008) diyagramlarındaki dağılımları. N-OOSB: okyanus ortası sırtı bazaltı, Z-OOSB: Zenginleşmiş okyanus ortası sırtı bazaltı, OAB: Okyanus ada bazaltı.

4. Tartışma ve Sonuçlar

GDAO kuşağı içerisinde önemli bir yeri olan Elazığ ili dolaylarında Uslu köyü ve civarında yüzeyleyen volkanik lavlar masif yapıda ve bazaltik karakterdedir. Mafik bileşenleri tanınmayan ve esasen plajiyoklastan oluşan bazalt ve alkalin bazalt kompozisyonundaki lavlar, hiyalomikrolitik porfirik ve amigdaloidal dokuludurlar. Lavlar, fraksiyonel kristallenme ile

ilişkili olup, feldspat ve mafik fenokristalen fazların kristallenmesi ile ilişkilidirler. İkili değişim diyagramlarındaki belirgin olmayan korelasyonlar ise ilgili elementlerdeki hareketliliğe ve alterasyona işaretir. Lavların, N-OOSB'ye ve kondrite normalize iz element desenleri, okyanusal yayın açılımına işaret eder (Şekil 7, 8).

Bu alandaki volkanik birimler, çoğu öncel çalışmada (Akkoca ve Bakır, 2016; Altunbey ve Sağıroğlu, 1995; Altunbey ve Çelik, 1990; Aydoğdu, 1991; Baykendi, 1998; Erdem, 1994; Beyarslan, 1996; Güzel, 1997; Turan ve Gürocak, 1997; Suiçmez, 1999; Kılıç, 2005; 2009; Kalender ve Uçar, 2013; Kalender ve Aytımur, 2016; Kaygılı, 2010; Kaya, 2004; Yalçın, 2020; Yıldız, 2004; Aydın vd., 2003; Eriş, 2013; Eriş vd., 2019; Ertürk, 2016; Ertürk vd., 2018a,b; Köküm, 2017; 2019; Beyarslan vd. 2018; Köküm ve İnceöz, 2018, 2020; Okan ve Güven, 2019; Akgün, 2020) Maden Karmaşığı olarak değinilmiş ya da haritalanmıştır. Son yıllarda ilk kez Ural (2012) ile Tekin vd., (2015) bu bölgede (Hacıhüseyinler Köyü civarında) lavlarla birincil sedimanter ilişkili pelajik çörtlerden elde ettikleri radyolaryaya yaşına dayanarak (Hacıhüseyinler civarı 09-US-8) Geç Kretase dönemine dair yaş verileri ortaya koymuşlardır.

Sonuç olarak; jeokimyasal verilerle birlikte bahsedilen öncel verilerin birlikte değerlendirilmesiyle, çalışma alanındaki volkanik lavların okyanusal yayın açılımıyla ilişkili ve Maden Karmaşığı'nın değil Yüksekova Karmaşığı'nın lavlarına ait oldukları düşünülmektedir.

Teşekkür

Araştırmacılar FÜBAP-MF.18.23 nolu proje ile desteğinden ötürü Fırat Üniversitesi'ne teşekkür ederler.

Kaynakça

- Akgül, M. (1987). Baskil (Elazığ) granitoidinin petrografik ve petrolojik incelenmesi. *F.Ü., Fen Bilimleri Enst., Yüksek Lisans Tezi*, 65s
- Akgül, B. (1993). Piran köyü (Keban) çevresindeki magmatik kayaçların petrografik ve petrolojik özellikleri. *F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, 142s.
- Akgün, E. (2020). Doğu Anadolu Fay Zonu'nun Doğanyol (Malatya) ile Çelikhan (Adıyaman) arasındaki gerilme durumunun incelenmesi. *F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, 135s.
- Akkoca, D. B., & Bakır, Z. (2016). Mineralogy and Geochemistry of Clay Rich Volcano-Sedimentary Units from South of Elazığ Basin (Eastern Turkey). *EGUGA, EPSC2016-1274*.
- Aksoy, E. (1993). Elazığ batı ve güneyinin genel jeolojik özellikleri, *Doğa Türk Yerbilimleri Dergisi*, 1(1), 113-123.
- Aksoy, E. & Tatar, Y. (1990). Van ili doğu-kuzeydoğu yöresinin stratigrafisi ve tektoniği, *Tübitak*, 14, 628-644.
- Aksoy, E. ve Çelik, H. (1995). Kovancılar (Elazığ) yakın kuzey ve batısının jeolojik özellikleri. *S.Ü. Müh.-Mim. Fak. Dergisi*, 10(1), 11-19.
- Aksoy, E. & Turan, M. (1997). Van ve Elazığ yörelerinde Kırkeçit Formasyonundaki olistolit yerleşimlerinin tektonik önemi. *S.Ü. Müh.-Mim. Fak. Dergisi*, 20, 35-44.
- Altunbey, M. & Sağıroğlu, A. (1995). Features and origin of the Koçkale-Elazığ manganese mineralizations. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 117(117), 68-69.

- Altunbey, M. & Çelik, S. (2005). Anayatak (Maden - Elazığ) Bakır cevherleşmesinin Jeolojik, Mineralojik ve Jeokimyasal Özellikleri. *Geosound/Yerbilimleri*, 47, 63-90.
- Aydın, A., Dumanlılar, Ö. & Yığmatepe, M. (2003). Elazığ-Sivrice-Uslu Cu cevherleşmelerinin jeolojik özellikleri. 56. *Türkiye Jeoloji Kurultayı*, MTA, Ankara.
- Aydoğdu, S. (1991). Dutluköy (Elazığ) yöresi magmatik kayaların petrografik özellikleri. *F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 64s (Yayınlanmamış).
- Barrett, T. J. & Mac Lean, W. H. (1999). Volcanic sequences, lithochemistry and hydrothermal alteration in some bimodal volcanic-associated massive sulphide systems, *Reviews in Economic Geology*, 8, 101-113.
- Baykendi, O. (1998). Tadım, Dedeyolu, Badempanı (Elazığ) köyleri çevresinin jeolojisi ve magmatik kayaların petrografik özellikleri. *F.Ü. Jeoloji Mühendisliği Eğitiminin 20. Yılı Sempozyumu Bild.*, 345-355.
- Beyarslan, M. (1996). Kömürhan ofiyolit biriminin petrografik ve petrolojik incelenmesi. *F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, 90s.
- Bingöl, A. F. & Beyarslan, M. (1996). Elazığ Magmatitleri'nin jeokimyası ve petrolojisi. *K.T.Ü. 30. Yıl Sempozyumu Bildirileri*, Ed. Korkmaz, S. ve Akçay, M., Trabzon, 208-227.
- Beyarslan, M., Okta, E. & Ertürk, M. A. (2018), Kale (Malatya) İlçesi Çevresindeki Geç Kretase Yaşlı Yay Magmatitlerinin Jeokimyasal Özellikleri. *Erzincan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(2), 191-206.
- Çelik, H. (2013). The effects of linear coarse-grained slope channel bodies on the orientations of fold developments: a case study from the Middle Eocene-Lower Oligocene Kırkgeçit Formation, Elazığ, eastern Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 22(2), 320-338.
- Erdem, E. (1994). Pütürge (Malatya) Metamorfitleri'nin petrografik ve petrolojik özellikleri. *F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, 119s.
- Eriş, K. K. (2013). Late Pleistocene-Holocene sedimentary records of climate and lake-level changes in Lake Hazar, eastern Anatolia, Turkey. *Quaternary International*, 302, 123-134.
- Eriş, K. K., Ön, S. A., Çağatay, M. N., Ülgen, U. B., Ön, Z. B., Gürocak, Z., Arslan, T. N., Akkoca, D. B., Damcı, E., İnceöz, M. & Okan, Ö. Ö. (2018). Late Pleistocene to Holocene Paleoenvironmental Evolution of Lake Hazar, Eastern Anatolia, Turkey. *Quaternary International*, 486, 4-16.
- Ertürk, M. A. (2016). Maden Karmaşığı'nın (DoğuToroşlar-Türkiye) petrolojik özellikleri. *F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, 130s.
- Ertürk, M. A., Beyarslan, M., Chung, S. L. & Lin, T.H. (2018a). Eocene magmatism (Maden Complex) in the Southeast Anatolian orogenic belt: Magma genesis and tectonic implications. *Geoscience Frontiers*, 9(6), 1829-1847.
- Ertürk, M. A., Beyarslan, M. & Sar, A. (2018b). In the Case of Maden Complex, Geochemical Constraints on the Origin and Tectonic Implication of Eocene Magmatism in SE Turkey. *Journal of Tethys*, 5(3), 240-263.
- Göncüoğlu, M. C. (2010). Introduction to the Geology of Turkey: Geodynamic evolution of the pre-Alpine and Alpine Terranes. *Mineral Resources of Turkey*, 1-69.
- Göncüoğlu, M. C. (2019). A Review of the Geology and Geodynamic Evolution of Tectonic Terranes in Turkey. *Mineral Resources of Turkey*, 19-72.
- Göncüoğlu, M. C. & Turhan, N. (1983). Geology of the Bitlis metamorphic belt, edited by O. Tekeli ve C. Göncüoğlu. *Geology of the Taurus belt International Symposium*, 237-244.
- Göncüoğlu, M. C. & Turhan, N. (1985). Bitlis Metamorfik kuşağı orta bölümünün temel jeolojisi, *M.T.A Raporu*, No:7707, 225s, Ankara.
- Göncüoğlu, M. C., Sayit, K. & Tekin, U. K. (2010). Oceanization of the northern Neotethys: geochemical evidence from ophiolitic mélange basalts within the Izmir-Ankara suture belt, NW Turkey. *Lithos*, 116, 175-187.
- Göncüoğlu, M. C., Tekin, U. K., Sayit K., Bedi, Y. & Uzunçimen, S. (2015). Opening, evolution and closure of the Neotethyan oceanic branches in Anatolia as inferred by radiolarian research. *Radiolaria*, 35, 88-90.
- Gürocak, Z. (1993). Sivrice (Elazığ) çevresinin jeolojisi. *F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 65s.
- Güzel, S. (1997). Kürk köyü (Sivrice)-Karakaya Baraj Gölü Arasında Doğu Anadolu Fay Zonu'nun Jeolojik Özellikleri. *F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 61s.
- Hempton, M. (1985). Structure and deformation history of the Bitlis suture near Lake Hazar, SE Turkey. *Geological Society of America Bulletin*, 96, 223-243.
- Hempton, M. R. & Savcı, G. (1982). Elazığ volkanik karmaşığının petrolojik ve yapısal özellikleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 25(2), 143-151.
- Herece, E., Akay, E., Küçümen, Ö. & Sarıaslan, M. (1992). Elazığ-Sivrice-Palu dolayının jeolojisi, M.T.A. Raporu, No: 9634.
- Kalender, L. & Uçar, S. Ç. (2013). Assessment of metal contamination in sediments in the tributaries of the Euphrates River, using pollution indices and the determination of the pollution source, Turkey. *Journal of Geochemical Exploration*, 134, 73-84.
- Kalender, L. & Aytımur, G. (2016). REE Geochemistry of Euphrates River, Turkey. *Journal of Chemistry. Journal of Chemistry*, (1), 1-13.
- Kaya, A. (2004). Geology of Gezin (Maden-Elazığ) and Surrounding Area. *Journal of Engineering Sciences*, 10(1) 41-50.
- Kaygılı, S., 2010. Gözeli-Sivrice (Elazığ) civarı drenaj jeokimyası. *F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 7-11s.
- Kılıç, A. D. (2005). Hazar Gölü (Sivrice-Elazığ) güneyinin petrografik ve petrolojik özellikleri. *F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, 103s.
- Kılıç, A. D. (2009). Petrographical and Geochemical Properties of Plagiogranites and Gabbros in Guleman Ophiolite, *Mineral Res. Exp. Bull.*, 139, 33-49.
- Köküm, M. (2017). Doğu Anadolu fay sistemi'nin Palu-Uslu (Elazığ) arasındaki kesiminin kinematik analizi. *F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, 100s.
- Köküm, M. (2019). Landsat TM görüntüleri üzerinden Doğu Anadolu fay sistemi'nin Palu (Elazığ)-Pütürge (Malatya) arasındaki bölümünün çizgisellik analizi. *Gümüşhane Üniv., Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(1), 119-127.
- Köküm, M. & İnceöz, M. (2018). Structural analysis of the northern part of the East Anatolian Fault System. *Journal of Structural Geology*, 114, 55-63.
- Köküm, M., & İnceöz, M. (2020). Paleostress analysis of the Yeşilyurt-Elazığ Fault Zone and its importance for the tectonic evolution, East Turkey. *Journal of Structural Geology*, 138, 104093.

- M. T. A. (2002). Türkiye 1/500,000 ölçekli Jeoloji Haritası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 18 pafta. Ankara.
- Naz, H. (1979). Elazığ-Palu dolayının jeolojisi. *T.P.A.O Raporu*, 1360.
- Okan, Ö. Ö. & Güven, A. (2019). Hydrochemistry of groundwaters from alluvial and fractured igneous aquifers at the western region of Lake Hazar (Elazığ, Turkey). *Arabian Journal of Geosciences*, 12, 52.
- Özdemir, Y. (2016). Geochemistry of tholeiitic to alkaline lavas from the east of Lake Van (Turkey): Implications for a late Cretaceous mature supra-subduction zone environment. *Journal of African Earth Sciences*, 120, 77-88.
- Özkul, M. (1982). Güneyçayır (Elazığ) bölgesinin sedimentolojisi. *A.Ü. Fen Fak., Yüksek Lisans Tezi*, 38s.
- Pearce, J. A. (2008). Geochemical fingerprinting of oceanic basalts with applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust. *Lithos*, 100, 14-48.
- Pearce, J. & Norry, M. J. (1979). Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y and Nb. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 69(1), 33-47.
- Perinçek, D. (1979a). Palu-Karabagan-Elazığ-Sivrice-Malatya alanının jeolojisi ve petrol imkanları. T.P.A.O., Ankara, Rap. No. 1361.
- Perinçek, D. (1979b). The geology of Hazro-Korudağ-Çüngüş-Maden-Ergani-Hazar-Elazığ-Malatya Area, Guide Book. *The Geological Society of Turkey*, 33s.
- Perinçek, D. (1980a). Arabistan kıtası kuzeyindeki tektonik evrimin, kıta üzerinde çökelen istifteki etkileri. *Türkiye 5. Petrol Kongresi, Tebliğler, Ankara*, 77-93.
- Perinçek, D. (1980b). Bitlis Metamorfitlelerinde Volkanitli Triyas. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 23, 201-211.
- Perinçek, D. & Kozlu, H. (1984). Stratigraphy and structural relations of the units in the Afşin-Elbistan-Doğanşehir region (Eastern Taurus): Tekeli, O. and Güncüoğlu, M.C. eds. *Int.Symp.on the geology of the Taurus Belt, Proceedings*, 181-198.
- Perinçek, D. & Özkaya, I. (1981). Arabistan levhası kuzey kenarının tektonik evrimi. *Yerbilimleri*, 8, 91-101.
- Rızaoğlu, T., Parlak, O., Höck, V. & İşler, F. (2006). Nature and significance of Late Cretaceous ophiolitic rocks and its relation to the Baskil granitoid in Elazığ region, SE Turkey. *Geological Society of London, Special Publications*, 260, 327-350.
- Rolland, Y., Hässig, M., Bosch, D., Bruguier, O., Melis, R., Galoyan, G., Topuz, G., Sahakyan, L., Avagyan, A. & Sosson, M. (2020). The East Anatolia-Lesser Caucasus ophiolite: An exceptional case of large-scale obduction, synthesis of data and numerical modelling. *Geoscience Frontiers*, 11(1), 83-108.
- Ross, P. S. & Bedard, J. H. (2009). Magmatic affinity of modern and ancient subalkaline volcanic rocks determined from trace-element discriminant diagrams. *Can. J. Earth Sci.*, 46, 823-839.
- Sar, A. (2016). Pertek (Tunceli) Güneydoğusundaki Granitoidlerin Petrolojisi. *F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 57s.
- Sar, A., Ertürk, M. A., Rizeli, M. E. (2019). Genesis of Late Cretaceous intra-oceanic arc intrusions in the Pertek area of Tunceli Province, eastern Turkey, and implications for the geodynamic evolution of the southern Neo-Tethys: Results of zircon U-Pb geochronology and geochemical and Sr-Nd isotopic analyses. *Lithos*, 350(351), 105263.
- Suiçmez, Y., 1999. Kavallı (Sivrice-Elazığ) çevresindeki cevherleşmelerin jeokimyası ve kökeni. *F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 42s.
- Sun, S. S. & McDonough, W. F. (1989). Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts; implications for mantle composition and processes. In: Magmatism in the ocean basins, Saunders, A.D. and Norry, M.J. (Editors), *Geological Society of London, London*, 42, 313-345.
- Sungurlu, O., Perinçek, D., Kurt, G., Tuna, E., Dülger, S., Celikdemir, E. & Naz, H. (1985). Geology of the Elazığ-Hazar-Palu area. *Bull. Turk. Ass. Petrol. Geol.*, 29, 83-191.
- Tatar, Y. (1987). Elazığ Bölgesinin Genel Tektonik Yapıları ve Landsat Fotoğrafları Üzerinde Yapılan Bazı Gözlemler. *Hacettepe Üniversitesi, Yer Bilimleri Bülteni*, 14, 295-308.
- Tekin, U. K. Ural, M., Göncüoğlu, M. C. Arslan, M., & Kürüm, S. (2015). Upper Cretaceous Radiolarian ages from an arc-back-arc within the Yüksekova Complex in the southern Neotethys mélange, SE Turkey. *Comptes Rendus Palevol*, 14(2), 73-84.
- Turan, M. & Bingöl, A. F. (1991). Kovancılar-Baskil (Elazığ) arası bölgenin tektono-stratigrafik özellikleri, Ed. Yetiş, C., Ahmet Acar Jeoloji Sempozyumu, Bildiriler, Adana, 211-226.
- Turan, M. (1984). Baskil - Aydınlar (Elazığ) yöresinin stratigrafisi ve tektoniği. *F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, 180s.
- Turan M. (1993). Elazığ ve yakın civarındaki bazı önemli tektonik yapılar ve bunların bölgenin jeolojik evrimindeki yeri, A. Suat *Erk Jeoloji Sempozyumu Bildirileri*, Ankara.
- Turan, M. & Gürocak, Z. (1997). Sivrice (Elazığ) Civarında Doğu Anadolu Fay Zonu'nun Tektonik Özellikleri. Selçuk Üniv. Müh.-Mim. Fak. 20. Yıl Jeoloji Sempozyumu. Bildiriler kitabı, 465-477.
- Ural, M. (2012). Elazığ ve Malatya çevresindeki Yüksekova Karmaşığı bazik volkanitlerinin petrokimyası, petrolojisi ve yaşı. *F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, 174s.
- Ural, M. & Sarı, B. (2019). New Planktonic Foraminifera Data from the Upper Cretaceous Pelagic Limestones of the Yüksekova Complex in the Maden Area (Southeast of Elazığ, Eastern Turkey). *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 362, 012121.
- Ural, M. & Kaya Sarı, M. (2019). Paleogeographic and Age Findings on Planktonic Foraminiferal Assemblages of Yüksekova Complex in the Northeast of Elazığ (Eastern Turkey). *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 362, 012146.
- Ural, M., Göncüoğlu, M. C., Arslan, M., Tekin, U. K. & Kürüm, S. (2014). Petrological and paleontological evidence for generation of a arc-back arc system within the closing southern branch of Neotethys during the Late Cretaceous, In: A. Begiraj et al. (Eds.), *Proceed. 20th CBGA Congr., Bull. Shk. Gjeol. Spec. Issue*, 2/2014: 51-54.
- Ural, M., Arslan, M., Göncüoğlu, M.C., Tekin, U. K. & Kürüm, S., 2015. Late Cretaceous arc and back-arc formation within the Southern Neotethys: whole-rock, trace element and Sr-Nd-Pb isotopic data from basaltic rocks of the Yüksekova Complex (Malatya-Elazığ, SE Turkey). *Ofioliti*, 40(1).
- Ural, M., Deniz, K. & Sayit, K. (2019). Mafic Volcanic and Subvolcanic Rocks from the Yüksekova Complex in the İçme-Kesikköprü Province (East of Elazığ, Eastern Turkey): Whole-Rock Geochemistry and Confocal Raman Spectroscopy Characterization. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 362, 012122.

- Yalçın, Y. (2020). Doğanbağı (Sivrice, Elazığ) sıcak ve mineralli su kaynağının hidrojeoloji incelenmesi. *F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 92s.
- Yazgan, E. (1981). Doğu Toroslarda etkin bir paleo-kıta kenarı etüdü(Üst Kretase-Orta Eosen) Malatya-Elazığ, Doğu Anadolu. *Yer Bilimleri*, 7(7), 83-104.
- Yazgan, E. (1983). A Geotraverse between the Arabian platform and the Munzur nappes, Enternational Symp, On the geology of the Taurus Belt, Guide book for Excursion, V, 1-17, Ankara.
- Yazgan, E. (1984). Geodynamic evolution of the Eastern Taurus region. In, The Geology of the Taurus Belt, International Symposium Proceedings, O. Tekeli and M.C. Göncüoğlu (Eds.), Ankara, 199-208.
- Yazgan, E., Asutay, H. J., Gültekin, M.C., Poyraz, N., Sirel, E. ve Yıldırım, H., 1987. Malatya güneydoğusunun jeolojisi ve Doğu Torosların jeodinamik evrimi. M.T.A Raporu, No: 2268.
- Yıldız, A. (2004). Uslu köyü (Sivrice-Elazığ) bakır cevherleşmelerinin mineralojik ve jeokimyasal özellikleri. *F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 34s.
- Winchester, J. A. & Floyd, P. A. (1977). Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation product using immobile elements. *Chemical Geology*, 20, 325-343.



Kuru tarımdan Sulu Tarıma Dönüşümün Toprakta Çeyrek Asırlık Etkisinin Mikromorfolojik Ölçekte Tanımlanması

Ahmet Çelik^{1*}, Erhan Akça²

^{1*} Adıyaman Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknolojileri Fakültesi, Ziraat Mühendisliği Bölümü, Adıyaman, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8958-4978), ahmetcelik@adiyaman.edu.tr

² Adıyaman Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Adıyaman, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8988-4196), erakca@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 28 Ekim 2020 ve Kabul Tarihi 11 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.816239)

ATIF/REFERENCE: Çelik, A. & Akça, E. (2021). Kuru tarımdan Sulu Tarıma Dönüşümün Toprakta Çeyrek Asırlık Etkisinin Mikromorfolojik Ölçekte Tanımlanması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 207-215.

Öz

Tarımsal üretimin üzerindeki baskılar gün geçtikçe artmaktadır. Tarım alanları sınıra dayanmış ve birim alandan daha çok üretim talep edilmektedir. Bunlara ek olarak iklim değişikliklerinin neden olduğu kurak dönem sayısındaki artış nedeniyle yarı kurak bölgelerde sulama ihtiyacını arttıracaktır. Ancak sulama kısa vadede üretimi arttırsa da uzun vadede başta tuzlanma olmak üzere toprak yapısını bozma, bitki besin elementlerinin yıkanmasının aralarında olduğu birçok olumsuz sonucu beraberinde getirmektedir. Toprakların sürdürülebilir kullanımı için uygulanan tarımsal yöntemlerin toprak kalitesini ne düzeyde etkilediği yapılacak detay çalışmalarla ortaya konulması toprak kalitesinin korunması hatta artırılması için ön koşuldur. Adıyaman ilinin içinde yer aldığı Güneydoğu Anadolu Projesi kapsamında Atatürk Barajı göl havzasından yapılan sulama faaliyetleri 25 yıllık bir sürece dayanmaktadır. Sulu tarımın 25 yıllık süreçteki etkisi değerlendirmek için Adıyaman ili Kahta ilçesinin kuzeydoğusunda yer alan çalışma alanında 4 farklı noktadan 0-30 cm derinlikten toprak örnekleri alınmıştır. Örneklerde bazı fiziksel, kimyasal, mineralojik ve mikromorfolojik parametreleri araştırılmıştır. Çalışma alanındaki toprakların smektitin baskın kil minerali olduğu kil tekstürlü, kireçli, nötr ve hafif alkali pH'ya sahip oldukları belirlenmiştir. Mikroyapısal açıdan topraklarda sulama sonrası herhangi bir kireç birikimi veya yıkanma olgusu (kaplama/kütan) saptanmamıştır. Buna karşın kuru tarımdan sulu tarıma geçişle birlikte organik madde, organik karbon, azot ve C/N düzeyleri azalma eğilimi gösterirken, elektriksel iletkenlik düzeyi kabul edilebilir sınırlar içinde olsa da artma eğilimi göstermiştir. Sonuç olarak, inceleme alanındaki elektriksel iletkenlik düzeyindeki artış eğilimi ve organik maddedeki azalma sulamanın tarımsal üretkenliği tehdit edebileceğini göstermektedir. Bunun önlenmesi için etkin sulama ve besleme programlarının saptanıp olası en hızlı süreçte hayata geçirilmesini gerektirmektedir.

Anahtar Kelimeler: Toprak Kalitesi, Mineraloji, Mikromorfoloji, Atatürk Barajı, Güneydoğu Anadolu Projesi

Description of the Quarter-Century Effect of Conversion from Rainfed Farming to Irrigated Farming on a Micromorphological Scale

Abstract

The pressures on agricultural production are increasing day by day. The agricultural lands have reached their limit and more production is demanded from per unit area. In addition to these, many studies have shown that the need for irrigation in semi-arid regions will increase due to the increase in the number of dry periods lead by climate change. However, although irrigation increases production in the short term, it brings many negative consequences, among which the destruction of soil structure, especially salinization, and leaching of plant nutrients in the long term. It is a prior condition to reveal the effect of agricultural management applied for the sustainable use of soils on soil quality through detailed studies to protect and even increase the soil quality. The irrigation activities carried out in the Atatürk Dam lake basin within the scope of the Southeastern Anatolia Project, which includes the province of Adıyaman, date back to 25 years. Soil samples were taken from 0-30 cm depth from 4 different points in the study area located in the northeast of Kahta district of Adıyaman province in order to evaluate the effect of irrigated agriculture in the 25 years. Some physical, chemical, mineralogical, and micromorphological parameters were determined in the samples. It has been determined that the soils in the study area have clay-textured, calcareous, neutral and slightly alkaline pH, where smectite is the dominant clay mineral. In terms of microstructure, no

* Sorumlu Yazar: Adıyaman Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknolojileri Fakültesi, Ziraat Mühendisliği Bölümü, Adıyaman, Türkiye, ORCID: 0000-0001-8958-4978, ahmetcelik@adiyaman.edu.tr

carbonate accumulation or illuviation phenomenon (coating/cutans) was detected in the soil following irrigation. On the other hand, with the transition from rainfed farming to irrigated agriculture, organic matter, organic carbon, nitrogen and C/N levels revealed a decrease, even though it was within acceptable limits, the electrical conductivity level tended to increase. As a result, the increasing trend in electrical conductivity in the study area and the decrease in organic matter indicate that irrigation can threaten agricultural productivity. To prevent this, effective irrigation and nutrition programs must be determined and implemented in the fastest possible time.

Keywords: Soil Quality, Mineralogy, Micromorphology, Atatürk Dam, Southeastern Anatolia Project

1. Giriş

Sürdürülebilir kalkınma için su ve toprak en kritik doğal varlık olarak kabul edilmektedir. Birleşmiş Milletlerin 2030 yılı için ortaya koyduğu 17 adet Sürdürülebilir Kalkınma Hedefinde su ve toprak hemen hemen hepsinde yer almaktadır. İklimsel değişimin arttığı ve gelecekteki kuraklık senaryoları üzerinde çalışıldığı bir süreçte toprakların sürdürülebilir kullanımı için su kurak tarım alanları için bir önceliktir. Kuru tarım söz konusu olduğunda, toprağın kırılganlığı daha da önemli hale gelir, çünkü birçok tarım uygulaması toprağı yağış için hazırlama amacına sahiptir. Böylece mümkün olduğunca fazla su depolayabilir.

Dünya besin ihtiyacının yaklaşık % 40'ı, dünyada kullanılan tarımsal arazilerin yaklaşık % 20'sinin sulanması sonucu elde edilmektedir. Sulama ile birlikte bitkisel üretim 1 ile 5 kat, yıllık gelir ise yaklaşık 6 kat kadar artabilmektedir (Powell ve ark., 1985; Bhattarai ve ark., 2002). Su ve tarım yönetimini mevcut imkanlarla potansiyele göre planlamak ülkenin gelecek yıllardaki gıda stratejisini de ortaya koyacaktır. Suyun etkin kullanımını sonucu ürünlerdeki verim artışının sağlanmasının yanı sıra bölgenin sosyo-ekonomik gelişmişliğine katkı sağlaması için teknolojik sulama yatırımları ve sahada çiftçilere yönelik eğitim faaliyetleri özellikle Güneydoğu Anadolu Projesi gibi eğitim düzeyi ülke genelinden düşük olan bölgelerde oldukça önem taşımaktadır (Ünver, 1997; Altınbilek ve Tortajada, 2012).

Türkiye'de iklim koşulları, düzensiz yağış ve yüksek yaz sıcaklıkları ile özellikle Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde tarımsal üretimi etkileyen başlıca belirleyici faktörlerden biridir. Yarı kurak iklim şartlarına sahip alanlarda sulama imkânı yoksa, yetiştirilebilecek bitki türü sayısı önemli ölçüde azalmakta ve ekimler kışlık olarak yapılmaktadır (İnan, 2020). Bununla birlikte Türkiye'de kullanılabilir tarımsal alanların yaklaşık % 85'lik bölümünde kuru şartlarda tarımsal üretim yöntemi ile yapılan uygulamalarda, birim alandan elde edilen ürün düzeyi düşüktür. Gelecekteki kuraklık senaryolarına göre bu verim ve ürün kayıpları daha da düşecek ve kriz boyutlarına ulaşabilecektir (Doran ve ark., 2009). Türkiye gıda güvenliğini güven altına almak için 8.5 milyon hektar sulu tarıma uygun arazilerinin 6.5 milyon hektarını sulamaya açmıştır (Aydın, 2019).

Adıyaman ve bölgesinde mülga KHGM (Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü) (1990, 1996, 1997) tarafından olası sulanacak alanlarla ilgili hazırlanan toprak etüt raporlarında üç bölgenin (Kahta Ovası, Çamgazi Ovası ve Besni-Keysun Ovası) fiziksel, kimyasal, biyolojik, mineralojik ve mikromorfolojik toprak özellikleri detaylı araştırmalarla belirlenmiştir. Ayrıca raporda arazi kullanım planlamalarına da yer verilmiştir. Yapılan etüt sonrası sulamaya açılan alanlarla ilgili çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bölgede Çelik ve ark. (2017)'nin yapmış oldukları çalışmada, kuru tarımdan sulu tarıma dönüşümle organik madde, potasyum, çinko, bakır ve mangan düzeyleri azalma eğilimi

gösterirken, elektriksel iletkenlik, hacim ağırlığı, azot, fosfor ve demir içeriklerinin arttığı saptanmıştır. Dikkat çeken sonuçlardan biri de elektriksel iletkenlikteki artış ve organik maddede azalış her ne sebeple günümüz koşullarında verimi etkileme şansı olmasa da uzun vadeli tarımsal yönetim planlamalarında, Adıyaman'da sürdürülebilir tarım için bu olguların dikkate alınması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Adıyaman'da kuru tarımdan sulu tarıma dönüşümle birlikte sulanan tarımsal alanlarda son 20 yılda artış gözlemlenmiştir (Alan, 2019). Yapılan sulamayla beklenen birim alandan elde edilen verim düzeyi artmıştır. Yalnız toprak kalite düzeyindeki değişimlerle ilgili ihtiyaç duyulan araştırmaların yetersizliğinden dolayı sulamadan sonra tarımsal faaliyetlerin sürdürülebilirliği tartışma konusudur.

1991 yılında su tutulmaya başlayan Atatürk Barajı'ndan sonraki yıllarda kıyısı bulunan tarım alanlarına enerji kullanılarak su iletimi sağlanmıştır. Çalışma alanının bulunduğu bölgelerde yaklaşık 25 yılı aşkın bir zamandan günümüze kadar sulu tarım yapılmaktadır. Bu çalışmayla, yaklaşık 25 yıldan daha fazla bir süreçte sulu tarımla birlikte toprakların sahip olduğu davranışsal özelliklerin mikro yapısal açıdan değişimleri irdelenmiştir. Çalışma alanı Kahta Ovası'nın kuzeydoğusunda yer almakta olup, daha önce yapılan etüt alanı içinde olmadığından elde edilen sonuçların, sonraki araştırmacılar için altlık bilgi sağlayacağı düşünülmektedir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Çalışma alanı Adıyaman'ın Kahta ilçesine yaklaşık 55 km uzaklıkta, ilin kuzeydoğusunda yer almaktadır. 37°43'31.12"-37°42'45.20" N enlemleri ile 38°48'30.89"-38°49'18.98" E boylamları arasında bulunmaktadır (Şekil 1). Çalışma alanının denizden yüksekliği 590-616 m arasında değişmekte olup, 33 yıllık sıcaklık ve yağış ortalaması 17.5°C ve 670.5 mm'dir (MGM, 2020). Köppen'in iklim sınıflandırılmasına göre Csa grubunda yer almaktadır. Adıyaman-Kahta genelinde toplam 569.541 dekarlık alanda tarım yapılmaktadır. Bu miktarın 88.000 dekarlık bölümünde sulu şartlarda tarla ve bahçe tarımı, 481.541 dekarlık alanda ise kuru koşullarda tarla ve bahçe tarımı yapılmaktadır (AİTOM, 2020). Araştırma alanında sulu koşullarda monokültür pamuk ve mısır tarımı yapılmakta olup, kuru koşullarda ise arpa, buğday, mercimek ve nohut tarımı yapılmaktadır. Çalışma alanı az taşlı düzeyde, drenajı "orta drenaj" grubunda yer almaktadır. Eğim % 0-2 ve % 2-4 düzeyindedir. Toprak Taksonomisine göre (Soil Survey Staff, 2014), çalışma alanının toprak sıcaklık rejimi mesic, toprak nem rejimi xeric olarak sınıflandırılmıştır. Örnekleme alanında toprak sınıfı morfolojik yaklaşımla Toprak Taksonomisinde Vertic Haploxerept, IUSS Çalışma Grubu WRB (2015) sınıflamasında ise Vertic Cambisol (Fluvisol) olarak sınıflandırılmıştır. Toprakların büyük bir bölümü işlenerek tarım yapılan Adıyaman-Kahta

genelinde ki tarımsal uygulama yapılmayan arazilerde, erozyondan dolayı doğal toprak örtüsü bulunmayan veya çok sığ olan alanlar olup, büyük bir kısmı bozunmuş mera arazileridir

(Çelik ve Akça, 2017). Kil düzeyi yüksek topraklar büyük ölçüde karbonat içerikli kayaların ayrışmasından oluşan kırmızı renkli smektit, illit ve düşük düzeyde kaolinit içeriklidir (KHGM, 1990).



Şekil 1.Çalışma alanı ve örnek alım noktalarının konumu

2.2. Metot

Araştırma alanında sulama 1995 yılında başlamıştır. Toprak örnekleri 25 yıldan günümüze kadar sulu ve kuru koşullarda tarım yapılan arazilerden 0-30 cm derinlikten alınmıştır. Toprak analizleri ABD Tarım Bakanlığı Doğal Kaynakları Koruma Servisi Toprak Etüdü Laboratuvar (USDA-NRCS,1996) yöntemleriyle fiziksel (tekstür ve saturasyon) ve kimyasal (pH,

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

İnceleme alanında bulunan topraklar çamur akıntısı sonucu taşınmış bajadalar şeklinde, % 0-2 ve % 2-4 eğimli kısmen dalgalı yüzey topografyasına sahip orta düzey derinlikte topraklardır.

3.1. Örneklerin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Kuru ve sulu koşullarda tarım yapılan alanlardan alınan örneklerin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Kuru ve sulu tarım yapılan alanlardaki topraklar killi bünyeye sahiptir. Toprak reaksiyonu (pH) değerleri kuru tarımda ortalama 7.39, sulu tarımda 7.65 olup, Ülgen ve Yurtsever (1995) tarafından kuru koşullarda “nötr”, sulu koşullarda “hafif alkali” olarak değerlendirilmiştir. Daha önce Kahta bölgesinde KHGM (1997), Çelik ve Akça (2017) tarafından yapılan çalışmada pH değerleri benzer şekilde elde edilmiştir. Kuru tarım yapılan toprakların ortalama EC değerleri 0.86 dS m⁻¹ iken, sulu tarım yapılan toprakların ise 1.03 dS m⁻¹ saptanmıştır (Tablo 1). Tuzluluk düzeyinde aradaki farkın sulamada kullanılan suyun kalitesi, bilinçsiz ve aşırı sulama, ihtiyaçtan fazla kullanılan gübrelerin neden olabileceği düşünülmektedir. Bununla birlikte

organik madde, organik karbon, kireç, EC, azot) analizleri yapılmıştır. Alınan örneklerin mineralojik analizleri Maden Tetkik Arama Laboratuvarlarında X-ışını kırınım aygıtıyla 3-70° (2θ) aralığında toz örneklerde yapılmıştır (Jackson, 1979). Adıyaman Üniversitesi Merkezi Araştırmalar laboratuvarında örnekler polarize mikroskopta ve tarama elektron mikroskobunda (SEM) incelenmiş ve örneklerin mikro-yapısal gelişimi ve gözenek boyut ve dağılım özellikleri FitzPatrick (1993) tarafından verilen terminolojiye uygun olarak yapılmıştır.

çalışma alanı toprakları “tuzsuz” olarak sınıflandırılmıştır (Richards, 1954). Çelik ve ark. (2017) Besni Keysun-Yoldüzü Ovası'nda yaptıkları araştırmada sulu tarıma geçişten sonra pamuk ve mısırdaki monokültür uygulamaları sonucu tuzluluk düzeyinin yaklaşık 3 kat arttığını belirlemişlerdir. Cox ve ark. (2018)'nin ABD'de kurak tarım alanlarının sulanması sonrasında toprak kalite düzeylerinde meydana gelen değişimlerle ilgili çalışma yapmışlardır. Bu araştırmada, özellikle killi topraklarda yüksek buharlaşma-terleme hızları, yüksek tuzluluk oranına sahip su ile yoğun sulama ve sınırlı infiltrasyon bitkinin büyümesi, toprak gözenekliliği ve geçirgenliğinin azalması, zayıf havalandırmaya yol açmış ve bir geri dönüşüm mekanizması ile tuz oluşumunu hızlandırdığı saptanmıştır. Bu nedenle tarımın sürdürülebilirliği uygun su, toprak ve ürün yönetimi uygulamalarına bağlıdır. Araştırma alanındaki kuru tarım topraklarının ortalama kireç içerikleri % 1.37 olup, sulu tarım topraklarının ise % 1.56 olarak saptanmıştır. Ortalama kireç düzeyleri Ülgen ve Yurtsever (1995) tarafından “kireçli” olarak değerlendirilmiştir (Tablo 1). Elde edilen sonuçlar KHGM (1997), Tazebay ve Saltalı (2011) ve Çelik ve Baran (2018)'in çalışmalarıyla uyum göstermiştir.

Tablo 1. Örneklerin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Örnek No	Derinlik (cm)	Saturasyon	Tekstür Sınıfı	% Kum	% Silt	% Kil	pH (1:2.5)	EC (dS m ⁻¹)	CaC O ₃ %	OM %	OC %	N %	C / N
HTK 1 (Kuru)	0-30	50	C	46	7	47	7.27	0.94	1.18	1.59	0.92	0,09	10.22
HTK 2 (Kuru)	0-30	60	C	11	21	68	7.51	0.78	1.57	1.40	0.81	0,07	11.60
HTS 1 (Sulu)	0-30	58	C	26	10	64	7.51	1.08	1.57	1.19	0.69	0,06	11.5
HTS 2 (Sulu)	0-30	64.5	C	12	14	74	7.78	0.97	1.55	1.02	0.59	0,06	9.83

Çalışma alanındaki toprakların organik madde düzeyleri kuru tarım uygulamalarında ortalama % 1.5, sulu tarım uygulamalarında ise % 1.11 olarak elde edilmiştir (Tablo 1). Sánchez-González ve ark. (2017) özellikle monokültür olarak çalıştıkları mısır denemelerinde organik maddenin miktarını ve kalitesini değiştirdiğini saptamışlardır. Benzer sonuçlar Çelik ve ark. (2017)'nin yaptıkları çalışmada saptanmış ve bu azalmanın büyük olasılıkla inceleme alanında yoğun sulu tarıma dönüşüm sonrası arazi kullanım düzeyinin artması, iklim ile ilgili gelişen sürece bağlı olarak ayrışma düzeyinin artması, anızın yakılması veya topraktan uzaklaştırılması nedeniyle organik madde miktarının azalma gösterdiğine dikkat çekmişlerdir. Organik madde düzeyinin Avrupa Toprak Bürosu'nun belirlediği değerlerin altında saptanması organik karbon yönetiminin gerekliliğini ortaya koymaktadır. Araştırma alanındaki toprakların organik karbon içerikleri incelendiğinde, kuru tarım uygulamalarında ortalama % 0.87, sulu tarım koşullarında ise % 0.64 olarak belirlenmiştir. Sulu tarım uygulamalarında toprak organik karbon içeriği kaybı, toprağın sürdürülebilir bitki üretimi için besin sağlama yeteneğini sınırlayabilir. Devamında daha düşük verim ve gıda güvenliğini etkileyebilir. Daha az organik karbon aynı zamanda toprakta bulunan canlı organizmalar için daha az gıda anlamına gelir, böylece toprak biyoçeşitliliğini azaltır (European Communities, 2009). Kuru ve sulu koşullardaki toprakların N düzeyleri sırasıyla ortalama % 0.08 ve % 0.06 olarak saptanmıştır. Belirlenen % N değerleri FAO (1990)'nun yeterlilik gruplandırmasına göre "az" düzeyde değerlendirilmiştir (Tablo 1). Sulu tarım uygulamalarında azot düzeyinin düşük düzeyde saptanmasının nedeni aşırı kültivasyon koşulları, monokültür ekim programı ve iklimsel faktörlerden kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Pan ve ark. (2013), Çelik ve Akça (2017) yaptıkları çalışmalarda benzer sonuçlar elde etmişlerdir. Örneklem alanındaki toprakların C:N oranları irdelendiğinde, kuru ve sulu tarım uygulamalarında sırasıyla ortalama 10.91 ve 10.67 olarak belirlenmiştir. Kuru tarım uygulamalarında sık toprak işleme faaliyetlerinin olmayışı ile ayrışma ve parçalanmanın sulu tarım koşullarına göre oldukça yavaş olması ve bu nedenle topraktaki biyokütlenin artmasına neden olduğu düşünülmektedir. Yarı kurak iklim özelliği gösteren

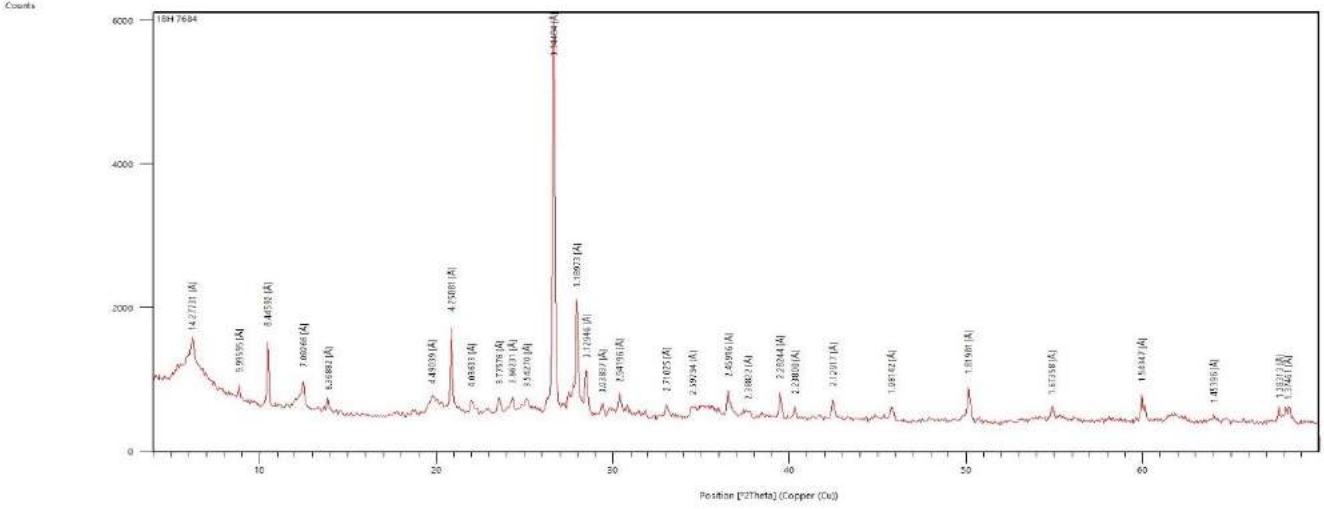
bölgede aralıksız yapılan sulu tarım uygulamaları (bilinçsiz arazi işleme vb.) ve yüksek oksidasyonla topraklar C ve N kaybetmektedirler (Sakin ve ark., 2011). Azalan C ve N düzeylerini uygun değerlere çıkarmak için toprağa organik gübre programlarının uygulanması gerektiği düşünülmektedir.

3.2. Örneklerin Mineralojik ve Mikromorfolojik Özellikleri

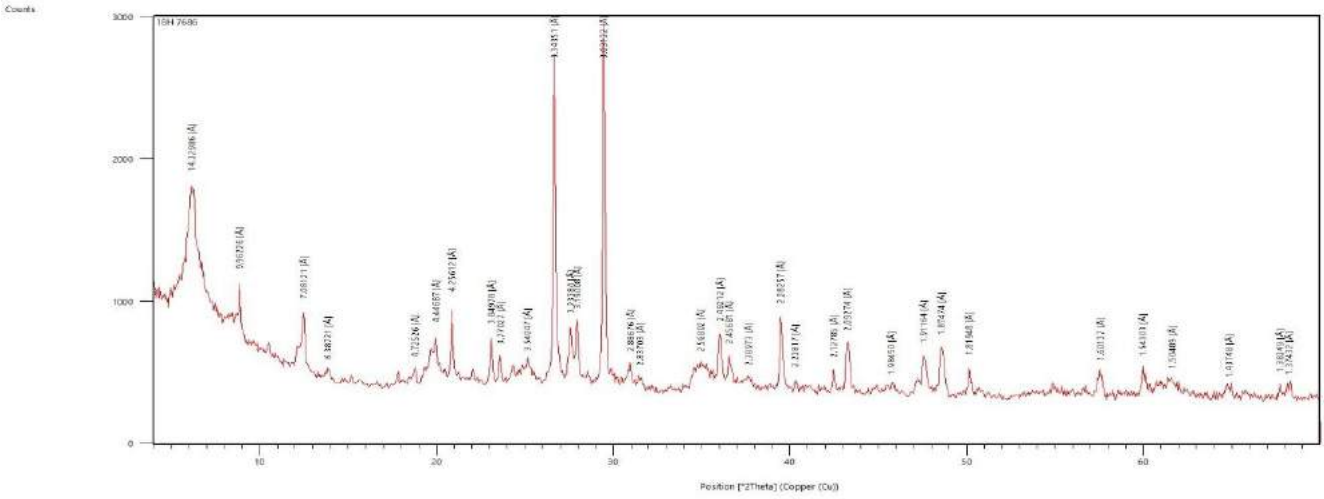
3.2.1. Mineralojik Özellikler

Adıyaman ve yöresi genel olarak Marn-Marnokalkerli yüksek araziler, Fırat ve yan kollarının konglomeratik terasları, çamur akıntısı-bajadalar, alüviyal yelpaze, genç alüviyal çökeller üzerinde oluşmuştur (KHGM, 1996 ve 1997). Bölgede daha önce yapılan çalışmalarda, toprakların kil içeriklerinin yüksek olduğu saptanmıştır. Kil düzeyleri ve çeşitleri, toprağı oluşturan ana materyal ve fizyografik birimlere bağlı olarak değişmektedir. Kil minerali saptanmasına yönelik yapılan çalışmalarda bölge topraklarında dört tip kil minerali; smektit, illit, kaolinit ve paligorskit belirlenmiştir (KHGM, 1997; Çelik, 2012; Çelik ve ark., 2015). Bu çalışmada alınan toprak/kil örneklerinin mineralojik analiz sonuçları dikkate alındığında değişen cins ve miktarlarda HTK-2 ve HTS-2 örneklerinde baskın birincil mineral kuvars ve kalsit olarak saptanmıştır (Şekil 3,5). HTK-1 ve HTS-1 örneklerinde ise, baskın birincil mineral sadece kuvars olarak belirlenmiştir (Şekil 2,4). Tüm örneklerde başat kil minerali smektittir. Bunu illit, kaolinit ve düşük düzeyde paligorskit izlemektedir. Kurak ve yarı kurak bölge topraklarda ayrışma düzeyinin yüksek miktarda gerçekleşmesiyle elde edilen bulguların doğruluğunu daha önce yapılan çalışmaların sonuçları kanıtlamaktadır.

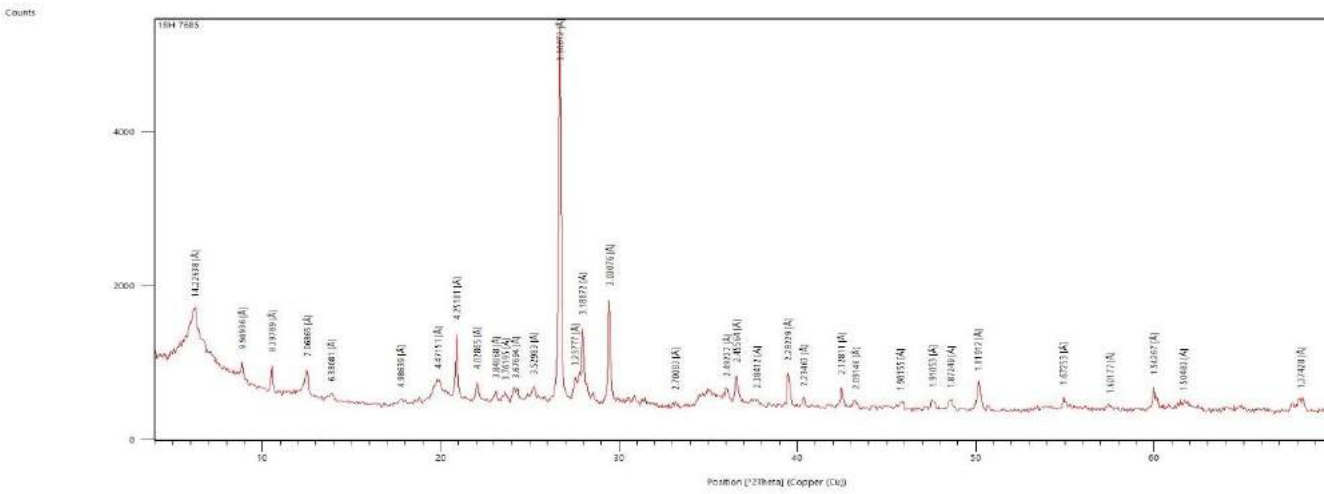
İnfiltrasyondaki hızlı azalma, hızlı agrega tahribatı ve temel toprak parçacıklarının yoğun olarak toplanmasından dolayı kaynaklanabilir. İnfiltrasyondaki azalma topraklardaki smektit tipi kil minerallerinin varlığına dayanabilir. Smektit içeriği yüksek topraklarda daha fazla erozyon oluşacağı düşünülmektedir (Mermut ve ark., 1995).



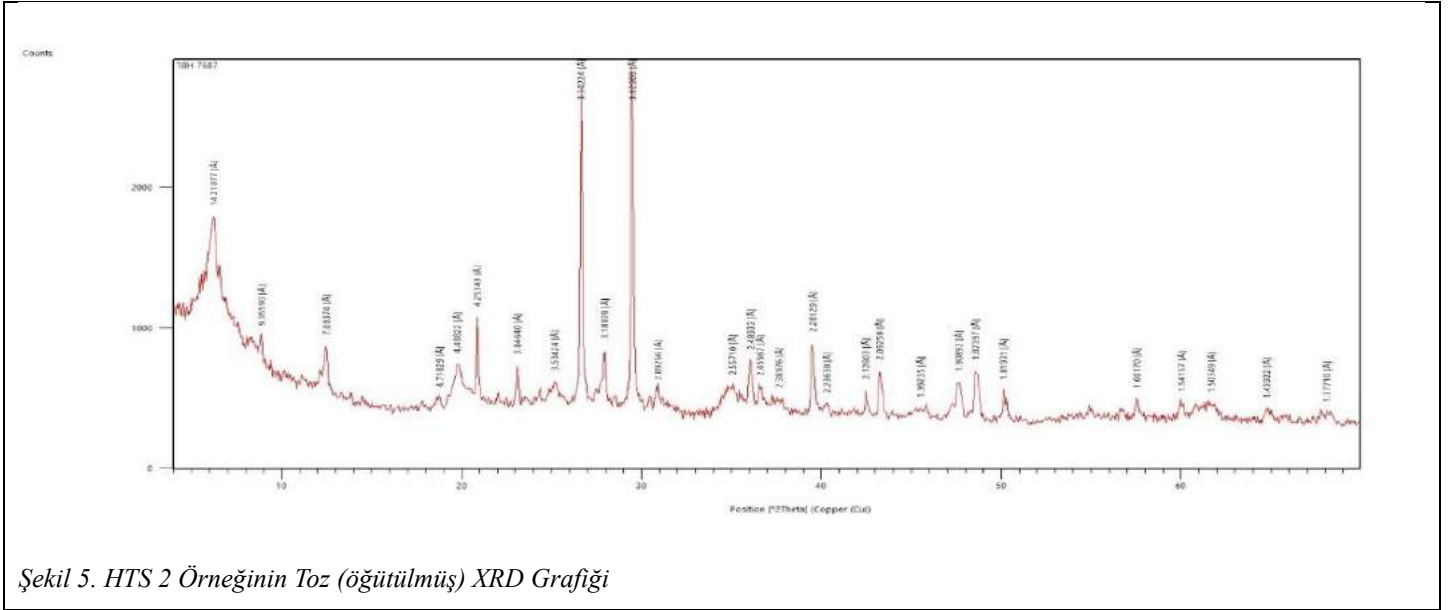
Şekil 2. HTK 1 Örneğinin Toz (öğütülmüş) XRD Grafiği



Şekil 3. HTK 2 Örneğinin Toz (öğütülmüş) XRD Grafiği



Şekil 4. HTS 1 Örneğinin Toz (öğütülmüş) XRD Grafiği



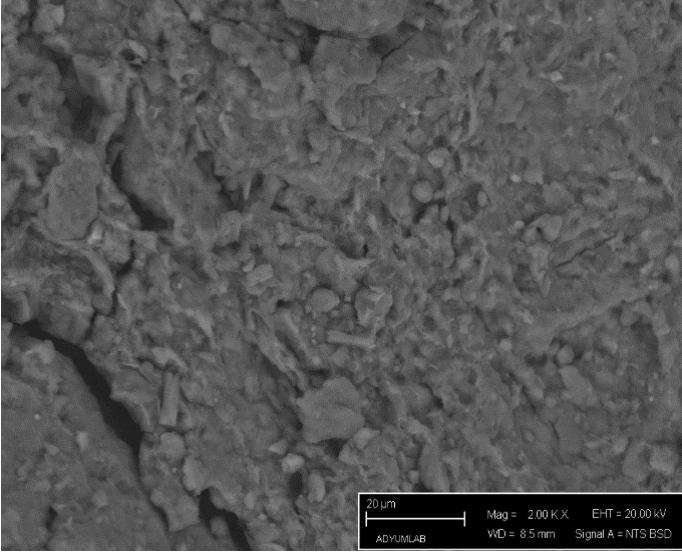
Şekil 5. HTS 2 Örneğinin Toz (öğütülmüş) XRD Grafiği

3.2.2. Örneklerin Bazı Mikromorfolojik Özellikleri

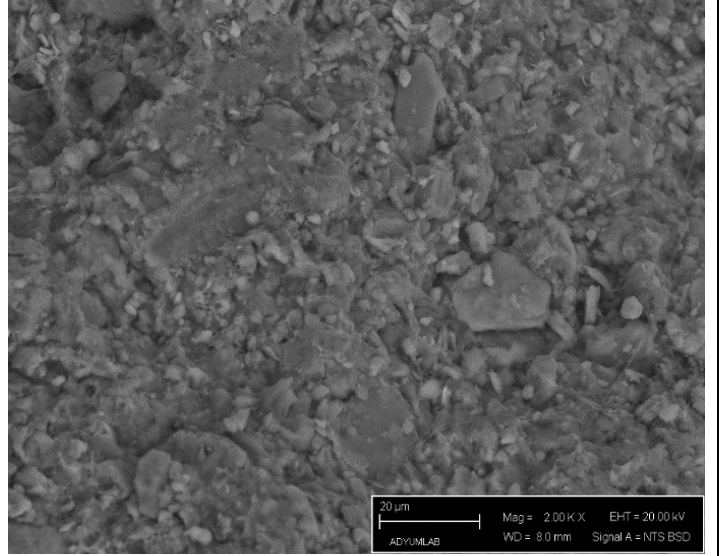
Araştırma alanından alınan örneklerin mikromorfolojik analizleri Scanning Electron Microscopy (SEM)'de incelenmiş olup, toprakların mikro-yapısal gelişim düzeyleri ve gözenek boyut ve dağılım özellikleri incelenmiştir (FitzPatrick, 1993) (Şekil 6, 7, 8, 9).

İnceleme alanındaki toprakların Vertisol ordosunun özelliklerine sahip, baskın kil tipinin smektit içermesi ve yüksek düzeyde plastiklik özelliği göstermesi agregatlaşma düzeyini artırma eğilimindedir. Yapılan önceki çalışmalarda, birbirini izleyen kuru ve ıslak döngüler sırasında, bir Vertisol yüzeyinin yapısının yavaş yavaş masiften karmaşık kırıntıya, bloklu ve yassı yapıya değiştiğini ve pedlerin boyutunun giderek azaldığını göstermiştir (Hussein ve Adey, 1998). Araştırma alanında en yoğun agregatlaşma kuru koşullarda tarım yapılan HTK-1 ve HTK-2 örneklerinde saptanmıştır (Şekil 6,7). Yüksek smektitli kilin varlığının, makro-agregatlar içinde mineralize edilebilir toprak organik maddesinin ve buna bağlı olarak toprak organik karbon düzeyinin korunmasını arttırdığı bildirilmiştir (Chevallier

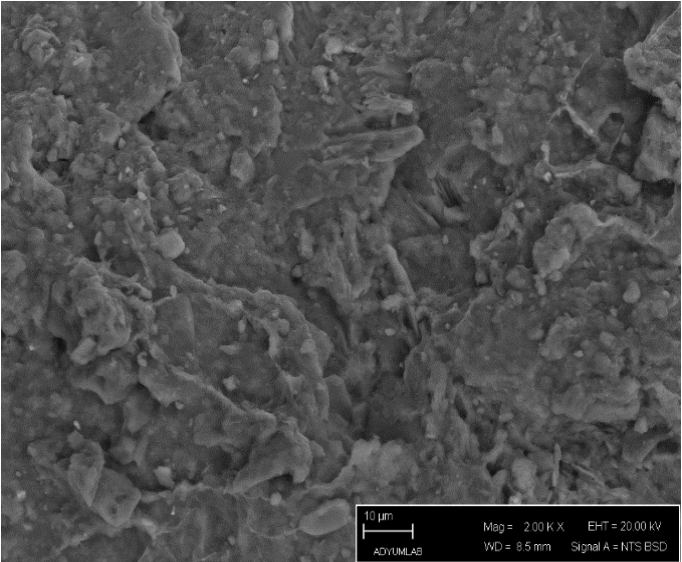
ve ark., 2004). Çalışma alanında kuru koşullardaki (HTK-1 ve HTK-2) organik madde ve organik karbon düzeyleri bunun kanıtıdır (Tablo 1). HTK-2 örneğinde mikroagregat sayısı diğer örneklerle göre daha yüksek düzeyde belirlenmiştir (Şekil 7). Çalışmada dikkat çeken diğer bir ayrıntı kuru koşullardaki örneklerde agregat yapısının bloklu yapıya doğru eğilimidir. Bu değişikliğin temelinde yapının dayanım açısından korunduğunun göstergesi olduğu düşünülmektedir. Örneklerin SEM görüntülerinde organik yapılar tam olarak belirlenememesine karşın HTS-1 ve HTS-2 örneklerinde düşük düzeyde organik yapılar saptanmıştır (Şekil 8,9). Bu durum büyük olasılıkla iklimsel faktörlere bağlı olarak organik maddenin hızla ayrışarak humin formlarına dönüşmemesi olarak açıklanabilir. Kuru tarım yapılan HTK-1 ve HTK-2 örneklerinde agregatlaşma düzeyinin sulu tarım yapılan HTS-1 ve HTS-2 örneklerine göre daha yaygın olmasının diğer bir nedeni daha az yoğunlukta toprak işleme faaliyetleridir. Oluşum ve yapısal yönden mikroyapıda herhangi bir kireç birikimi veya yıkanma olgusu (kaplama/kütan) saptanmamıştır. Özetle, araştırma alanı topraklarında agregat oluşumu açısından kil ve organik madde düzeyi ve aynı zamanda arazi işleme yoğunluğunun etkili olduğu görülmektedir.



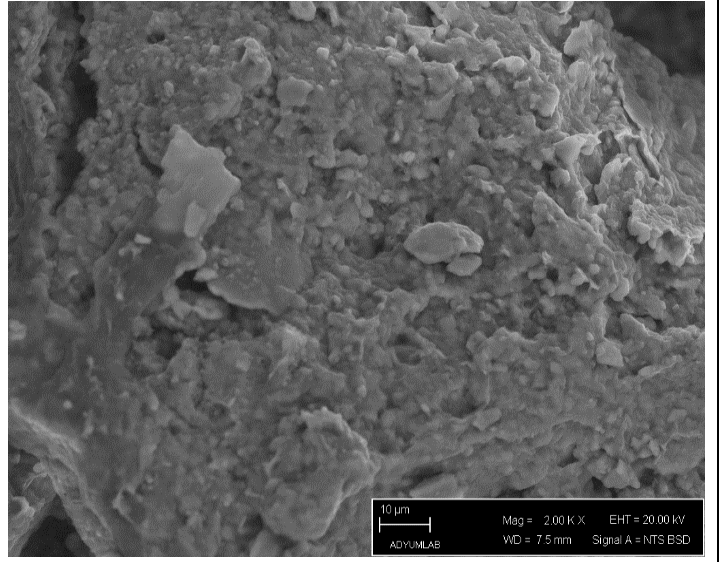
Şekil 6. HTK-1 Kuru koşullarda tarım yapılan toprakların SEM görüntüsü



Şekil 7. HTK-2 Kuru koşullarda tarım yapılan toprakların SEM görüntüsü



Şekil 8. HTS-1 Sulu koşullarda tarım yapılan toprakların SEM görüntüsü



Şekil 9. HTS-2 Sulu koşullarda tarım yapılan toprakların SEM görüntüsü

4. Sonuç

Tarıma dayalı ekonomiye sahip ülkelerde sulu tarım toplumun refah düzeyinin artmasında lokomotif etki göstermektedir. Kurak ve yarı-kurak bölgelerdeki ülkeler ki Türkiye bu ülkeler arasındadır sulu tarım konusunda yüksek düzeyde yatırım yapmaktadırlar. Su ve tarım yönetimini mevcut imkanlarla potansiyele göre planlamak ülkenin gelecek yıllardaki tarımsal üretim stratejisini de ortaya koymaktadır. Tarımsal faaliyetlerde ürün-fayda ilişkisi birim alandan elde edilen ürün düzeyine ve verimliliğe göre değişiklik gösterir. Sürdürülebilir toprak kalitesinin korunması, arazi kullanımındaki iyileştirmeler ve elde edilecek verimle sektörde faaliyet gösteren insanların sosyo-ekonomik yaşam düzeyleri ve milli gelire sağlayacakları katkı düzeyinin artmasını sağlayacaktır. Bununla birlikte sulama dikkatli ve bilimsel ölçütlerde yapılmadığında tarihte Sümer

Uygarlığında da görüleceği üzere topraklarda tuzlanma, yapı bozulmasına, kirlenmeye ve sonuçta çöleşmeye giden süreci tetiklemektedir. Çalışma sonrasında hâlihazırda sulanan topraklarda belirgin bir kalite bozulması olmamasına karşın eğilimin tuzluluğun artması, organik maddenin azalması ve mikroyapının geçirimsiz tabaka oluşturmaya başladığı saptanmış ve görülmüştür. Bu sorunların geriye döndürülmesi için özellikle monokültür pamuk tarımının yapıldığı alanlarda su istemeyen bitkilerin kullanıldığı mutlaka ekim nöbetinin uygulanması, uzun vadede toprakların bozunumunu ve tuzluluk seviyesinin artmasını önleyecektir. Yörede bilinçsiz ve aşırı yapılan gübreleme ile belki üretimin ilk dönemlerinde iyi verim elde edilmesi mümkün, ancak uzun süreçte toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri üzerine ne tür bir etki edeceği önceden bilinmemektedir. Yalnız bu olumsuzluklar ortaya çıktığında ise problemlerin kısa süreçte çözümü mümkün olmadığı gibi toprakların geri kazanımı için

yapılan/yapılacak çalışmalar uzun bir zamana yayılacaktır. Bölgede korumalı tarım uygulamalarının gelişimi ve ivme kazanması ve aynı zamanda toprak verimliliği ve organik madde yönetimi, toprakların sürdürülebilirliği ve su yönetimi açısından fayda sağlayacaktır.

5. Teşekkür

Araştırma alanında örnekleme sırasında katkılarından dolayı Halil Tanyıldız ve Miraç Kılıç'a teşekkür ederiz.

Kaynakça

- AİTOM (2020). Adıyaman İl Tarım ve Orman Müdürlüğü bilgi kitabı.
- Alan, A. (2019). Adıyaman tarımının genel görünümü sorunlar ve öncelikler. Adıyaman'ın geleceğinde tarım ve gıda paneli bildiri kitabı. 30 Kasım 2019, 25-28.
- Altınbilek, D., Tortajada, C. (2012). The Atatürk Dam in the context of the Southeastern Anatolia (GAP) project. In *Impacts of large dams: A global assessment* (pp. 171-199). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Aydın, M. (2019). Tarımsal Sulama. *Türk Tarım Orman Dergisi*. Mayıs-Haziran 12019: 10-26.
- Bhattarai, M., Sakthivadivel, R., Hussain, I. (2002). Irrigation impacts on income inequality and poverty alleviation: Policy issues and options for improved management of irrigation systems. Working Paper 39. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute.
- Chevallier, T., Blanchart, E., Albrecht, A., Feller, C. (2004). The physical protection of soil organic carbon in aggregates: a mechanism of carbon storage in a Vertisol under pasture and market gardening (Martinique, West Indies). *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 103(2), 375-387.
- Cox, C., Jin, L., Ganjegunte, G., Borrok, D., Loughheed, V., Ma, L. (2018). Soil quality changes due to flood irrigation in agricultural fields along the Rio Grande in western Texas. *Applied Geochemistry*, 90, 87-100.
- Çelik, A. (2012). Adıyaman ilinin tarım dışı alanlarındaki tuğla-seramik hammadde kaynaklarının kullanım potansiyellerinin belirlenmesi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Ana Bilim Dalı (Doktora Tezi), Adana.
- Çelik, A., Akça, E., Yıldırım, Y., Büyük, G., Kapur, S. (2015). Adıyaman Bölgesi'nde Tarım Dışı Alanlardaki Kil Yataklarının Kil Mineralojisi: Tuğla-Seramik Hammaddesi Olarak Değerlendirileme Potansiyelleri, 16. *Ulusal Kil Sempozyumu*, Çanakkale Onsekiz Mart Üniv. Yayınları: 127 Sempozyum Kitabı, 128-138s, Çanakkale.
- Çelik, A., İnan, M., Sakin, E., Büyük, G., Kırpık, M., Akça, E. (2017). Kuru tarımdan sulu tarıma geçiş sonrası toprak özelliklerindeki değişimler: Adıyaman örneği. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 5(2), 80-86.
- Çelik, A., Akça, E. (2017). Adıyaman'da eğimli akarsu seki topraklarının sürdürülebilir kullanımı için öneriler. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 27(1), 130-141.
- Çelik, A., Baran, M.F. (2018). Adıyaman İli Toprak Yapısı ve Tarımsal Mekanizasyon Durumu. Ziraat, Orman ve Su Ürünleri Alanında Akademik Çalışmalar. Gece Kitaplığı, Ankara, s.61-74.
- Doran, İ., Koca, Y. K., Kılıç, T. (2009). Olası İklim Değişiminin Diyarbakır Tarımına Etkileri. V. Ulusal Coğrafya Sempozyumu, 16-17 Ekim 2008, 369-377, Ankara.
- European Communities (2009). Reproduction is authorised provided the source is acknowledged. <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/projects/SOCO/FactSheets/ENFactSheet-03.pdf>
- FAO (1990). Micronutrient, assessment at the country level, an international study. FAO Soils Bulletin, 63. Rome.
- FitzPatrick, E. A. (1993). Soil Microscopy and Micromorphology. Chichester No. 631.43 F5. John Wiley & Sons. 433P.
- Hussein, J., Adey, M.A. (1998). Changes in microstructure, voids and b-fabric of surface samples of a Vertisol caused by wet/dry cycles. *Geoderma*, 85(1), 63-82.
- İnan, M. (2020). Yarı Kurak Koşullarda Ekim Zamanlarının Çörekotu (*Nigella sativa* L.) Verim ve Verim Özelliklerine Etkisi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 7(1), 32-37.
- Jackson, M.L. (1979). Soil Chemical Analysis. Adv. Course. Dept. of Soil Sci. Mad., Wisconsin, 247p.
- KHGM (1990). Adıyaman Çamgazi Ovası Sulama Projesi Sahası Detaylı Temel Toprak Etütleri. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Toprak Etüd Şubesi Ankara, s. 212.
- KHGM (1996). Adıyaman-Besni, Keysun ve Kızılın Ovası Sulama Proje Sahası Detaylı Toprak Etütleri, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Etüd ve Proje Dairesi Başkanlığı, Ankara, s. 168.
- KHGM (1997). Adıyaman Kâhta Ovası Sulama Proje Sahası Detaylı Toprak Etütleri, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Etüd ve Proje Dairesi Başkanlığı, Ankara, s. 250.
- Mermut, A. R., Luk, S. H., Römkens, M. J. M., & Poesen, J. W. A. (1995). Micromorphological and mineralogical components of surface sealing in loess soils from different geographic regions. *Geoderma*, 66(1-2), 71-84.
- MGM (2020). Meteoroloji Genel Müdürlüğü Kayıtları. Ankara.
- Pan, J.L., Dai, W.A., Shang, Z.H., Guo, R.Y. (2013). Review of research progress on the influence and mechanism of field straw residue incorporation on soil organic matter and nitrogen availability. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 21(5), 526-535.
- Powell, R.A., Jenson, R.C., Gibson, A.L. (1985). The economic impact of irrigated agriculture in NSW. Australia: New South Wales Irrigators' Council Limited.
- Richards, L.A. (1954). Diagnosis and improvements saline and alkali soils. U.S. Dept. Agr. Handbook, 60.
- Sakin, E., Deliboran, A., Sakin, E.D., Aslan, H. (2011). Carbon and nitrogen stocks and C:N ratios of Harran plain soils. *Romanian Agricultural Research*, 28:171-180.
- Sánchez-González, A., Chapela-Lara, M., Germán-Venegas, E., Fuentes-García, R., del Río-Portilla, F., Siebe, C. (2017). Changes in quality and quantity of soil organic matter stocks resulting from wastewater irrigation in formerly forested land. *Geoderma*, 306, 99-107.
- Soil Survey Staff (2014). Keys to Soil Taxonomy, 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
- Tazebay, N., Saltalı, K. (2011). Adıyaman-Besni ilçesi kuru ve sulu tarım alanı topraklarının verimlilik açısından değerlendirilmesi. *Ulusal Toprak ve Su Sempozyumu*, 25-27 Mayıs, Ankara.
- Unver, I.O. (1997). Southeastern Anatolia Project (GAP). *International Journal of Water Resources Development*, 13(4), 453-484.
- USDA-NRCS (1996). Soil Survey Laboratory Manual. Soil Survey Investigation Report No. 42. Version 3.0. 693 P. Washington.

Ülgen, N., Yurtsever, N. (1995). Türkiye Gübre ve Gübreleme Rehberi (4. Baskı), T.C. Başbakanlık Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Genel Yayın No: 209, Teknik Yayınlar No: T.66, Ankara, s. 230.

WRB (2015). World Reference Base For Soil Resources. International Soil Classification System For Naming Soils And Creating Legends For Soil Maps. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy.



Hemşirelik Bölümündeki Öğrencilerin Aldıkları Beslenme Eğitiminin Sağlık Davranışları, Antropometrik Ölçümler ve Beslenme Alışkanlıkları Üzerine Etkisinin Değerlendirilmesi

Sabiha Zeynep Aydenk Köseoğlu^{1*}, Berrak Baştürk², Hatice Kübra Yılmaz³

¹Sabahattin Zaim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7936-8642>), sabiha.koseoglu@izu.edu.tr

²Haliç Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6817-3141>), berrakerguden@halic.edu.tr

³Haliç Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7750-6024>), kubrayilmaz@halic.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 7 Eylül 2020 ve Kabul Tarihi 12 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.791686)

ATIF/REFERENCE: Köseoğlu, S. Z. A., Baştürk, B. & Yılmaz, H. K. (2021). Hemşirelik Bölümündeki Öğrencilerin Aldıkları Beslenme Eğitiminin Sağlık Davranışları, Antropometrik Ölçümler ve Beslenme Alışkanlıkları Üzerine Etkisinin Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 216-222.

Öz

Bu çalışma, hemşirelik öğrencilerinin aldıkları beslenme eğitiminin, beslenme alışkanlıkları ve antropometrik ölçümlerine etkilerini değerlendirmek amacıyla yapıldı. 2017 Eylül - 2019 Eylül yılları arasında Haliç Üniversitesi Hemşirelik Bölümü öğrencilerinden gönüllü olanlardan, basit rastgele örnekleme yöntemiyle belirlenen, birinci sınıf öğrencisi 59 ve 56 üçüncü sınıf öğrencisi olmak üzere toplam 115 öğrenci çalışmaya dahil edildi. Öğrencilerin demografik özellikleri, sağlık durumları, beslenme alışkanlıkları, fiziksel aktivite düzeylerini sorgulayan bir anket yüz yüze uygulandı. Antropometrik ölçümlerinden boy stadiometre ile bel çevresi, kalça çevresi esnek şerit metre ile ağırlık, yağ ve kas yüzdesi ise bu konuda yetkin kişiler tarafından BİA yöntemi ile ölçüldü. Çalışmaya katılan öğrenciler ortalama 21.2 ± 2.38 yaşlarında, çoğunun (%73.9; n=85) kız olduğu belirlendi. BKİ'sinin %71,3 çoğunlukla 18.5-24.9 arasında değiştiği ve normal sınırlar arasında olduğu, %2.6'sının ise BKİ'sinin 30kg/m^2 'den büyük ve obez sınıfta olduğu saptandı. BKİ'si 30kg/m^2 'den büyük olanların oranının üçüncü sınıf öğrencilerinde daha düşük (%1.8) olduğu belirlendi. Bel çevresi 75 cm üzerinde olan öğrencilerin çoğunun birinci sınıf öğrencileri olduğu (%35.5) üçüncü sınıf öğrencilerinde ise daha düşük olduğu (%18.5) ve aralarında da istatistiksel olarak anlamlı farklılık olduğu belirlendi ($p=0,02$). Çalışmaya katılan üçüncü sınıf öğrencilerinin %40.3'ünün okulda aldığı beslenme dersinin beslenme alışkanlıkları üzerine etkili olduğunu ifade ettiği saptandı. Alınan beslenme dersinin öğrencilerin en çok kahvaltı öğününe (%10.4) etkisi olduğu belirlendi. Çalışmanın sonucuna göre hemşirelik birinci sınıf ve üçüncü sınıf öğrencileri arasında aldıkları eğitim yönünden farklılık olmasına bağlı olarak bazı beslenme alışkanlıkları, antropometrik ölçümler ve sağlık davranışları arasında-farklılıklar görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Antropometrik Ölçümler, Beslenme Alışkanlıkları, Hemşirelik, Beslenme Eğitimi, Sağlık Davranışları.

Assessment of the Effect of Nutrition Education Received by Students in Nursing Department on Health Behaviors, Anthropometric Measurements and Nutritional Habits

Abstract

This study was carried out to evaluate the effects of the nutritional education received by nursing students on nutritional habits and anthropometric measurements. Between September 2017 and September 2019, among the volunteers of Haliç University Nursing Department, a total of 115 students, 59 first-year students and 56 third-year students, determined by simple random sampling method,

* Sorumlu Yazar: szaydenk@gmail.com

were included in the study. A questionnaire questioning the demographic characteristics, health status, nutritional habits, and physical activity levels of the students was applied face-to-face. Among the anthropometric measurements, height was measured with a stadiometer, waist circumference, hip circumference were measured with a flexible tape measure, and weight, fat and muscle percentage were measured with the BIA method by competent persons. The students participating in the study were determined to be 21.2 ± 2.38 years old, most of them (73.9%; $n=85$) girls. It was determined that the BMI was between the normal limits 71.3%, mostly between 18.5-24.9, and the BMI of 2.6% was above 30kg/m^2 and in the obese class. It was determined that the ratio of those with a BMI greater than 30kg/m^2 was lower (1.8%) in third-year students. It was determined that most of the students with waist circumference above 75 cm were first-year students (35.5%) and lower than third-year students (18.5%) and there was a statistically significant difference between them ($p=0.02$). 40.3% of the third-year students who participated in the study stated that they were effective on the habits of the nutrition lesson they took at school. It was determined that the nutrition lesson learned had the most effect on students' breakfast meals (10.4%). According to the results of the study, some changes in terms of nutritional habits, anthropometric measurements and health behaviors were observed due to the differences between the first, and third-years of Nursing students in terms of education they received.

Keywords: Anthropometric Measurements, Nutritional Habits, Nursing, Nutrition Education, Health Behaviors.

1. Giriş

Sağlıklı ve dengeli beslenme; büyüme, gelişme, sağlığı korumak ve yaşam kalitesinin ve yükseltilmesinde gereksinimimiz ölçüsünde enerji ve besin öğelerinin yeterli ve zamanında alınması yönünden büyük öneme sahiptir (Baysal, 2012).

Çocukluk ve gençlik dönemleri, sağlıklı yaşam şeklinin edinilmesi, sürdürülmesi, uygun beslenme davranışlarının kazanılması ve yaşamın ileri dönemlerine taşınmasında önemlidir. Son yıllardaki araştırmaların sonuçları, bu dönemlerdeki sağlıksız beslenme alışkanlıklarının yetişkinlik döneminde görülen kronik hastalıkların nedeni olduğunu göstermektedir (C. Baric, Šatalić & Lukešić, 2003; Benjelloun, 2002). Kalp damar hastalıkları, diyabet, obezite, osteoporoz ve kanserlerin oluşumunda o zamana değin alınan kalori miktarı ve bunun bileşimi önemli rol oynamaktadır (Mazıcıoğlu, & Öztürk, 2003).

Beslenme, bugünlerde bütün ülkeler tarafından önem verilen bir konu olup, kişilerin temel ihtiyaçlarından birisidir. Anne karnından başlayarak, yaşamın tüm evrelerinde doğru beslenme alışkanlıklarının edinilmesi ve düzenlenmesi, özellikle beden ve akıl sağlığının korunması ve gelişimi yönünden önem taşımaktadır (Benjelloun, 2002).

Beslenmenin izlenmesinde, günlük öğün miktarı, gün içinde tüm öğünlerde tüketilen gıdaların cins, içerik ve miktarları, besin tercihleri, besinlerin satın alınması, saklanması, hijyenik ve sağlıklı olarak pişirilmesine yönelik alışkanlıklarıyla, birlikte yemekleri yerken çığneme durumları, beslenme hızları, psikolojik durumlara göre beslenme davranış ve tutumları gibi konuları içermektedir (Kaleli, 2017).

Günlük beslenmede gereksinimlerin hesaplanmasında yaş, cinsiyet, sağlık durumu, yapılan fiziksel aktivite ve kalıtsal etmenler değerlendirilmektedir. Adölesan dönemindeki tüm gereksinimler yetişkinlerden daha fazladır. Yetersiz ve dengesiz beslenmenin yol açtığı sorunların en çok rastlandığı yaş gruplarından birisidir. Üniversite, gençlerin hayatında pek çok konuda olduğu gibi beslenme konusunda da yeni bir dönem olarak kabul edilmektedir. Bu süreçte gençler yeni oluşturacakları düzene uyum sağlamakla birlikte, farklı pek çok insanla iletişime geçmeleri sebebiyle de dış etkilere daha fazla açık hale gelirler ve bu dönemde normalde gösterdiklerinden farklı davranışlar sergileyebilirler. Hayatlarının daha aktif hale gelmesi ile birlikte sağlıksız ve düzensiz beslenme

davranışlarının artmasına neden olmaktadır (Mazıcıoğlu & Öztürk, 2003).

Üniversite gençliği, adölesan sonrası yetişkinliğe adım atma aşamasındaki önemli bir grubu teşkil etmektedir. Bu dönemdeki öğrenciler, alışmış oldukları aile ortamından ayrılmakta, sosyalleşmeleri ve kendi tercihlerini yapmalarından dolayı da beslenme planlarında değişik formasyonları seçebilmekte ve bu yaklaşımlar onların sağlık sorunlarına neden olabilmektedir (Korkmaz, 2010). Üniversitede öğrenim gören öğrencilerin beslenme alışkanlıklarının, gereksinimlerinin saptanması ve planlanması, bu dönemde görülebilecek beslenme sorunlarının önlenmesi yönünden önem taşımaktadır (Ermiş, 2015).

Beslenme, beslenme alışkanlıklarındaki değişiklik daha sağlıklı bir yaşam ve uzun ömürle sonuçlanabileceği için akademik ve kamusal öneme sahip bir konudur. Sağlıkla ilgili eğitim veren birçok üniversite, beslenme eğitimine yönelik müfredatlar geliştirmeye çalışmaktadır. Ancak, sağlık profesyonellerinin halen beslenme bilgilerinde ciddi eksiklikleri olduğuna dair kanıtlar vardır. Dahası, sağlık bilimi öğrencileri sağlıklı beslenmeyi kabul etmiyor gibi görünmekte ve beslenme bilgisi ve beslenme müfredatlarının etkinliği ile ilgili sorular ortaya atılmaktadır (Yfanti, Tsiriga, Yfantis & Tiniakou, 2011).

Sağlık hizmeti sağlayıcıları, optimal olmayan beslenme ve yaşam tarzı modellerine katkıda bulunan tüm yaşam tarzı ve çevresel faktörleri göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca, toplum sağlık hizmetlerinde çalışan hemşireler her yaş grubunun sağlık taranmasında ve tedavisine katılarak önemli bir rol oynayabilir. Bu nedenle ve çoğu beslenme tedavisi diyetisyenler tarafından uygulanmakla birlikte, hemşirelerin beslenme riski faktörlerini tanımlamak için yeterli bilgiye sahip olmaları gerekmektedir (Endevelt, 2009).

2. Materyal ve Metot

2.1. Araştırmanın Amacı

Çalışmada sağlık profesyonellerinden biri olan hemşirelerin beslenme ve sağlık dersini henüz almamış olan hemşirelik 1.Sınıf öğrencileri ile beslenme ve sağlık konusunda eğitim almış olan 3.Sınıf öğrencileri arasındaki beslenme, sağlık davranışları ve bu parametrelerden etkilenen antropometrik ölçümler yönünden değerlendirilmesi amaçlandı.

H_0 : Hemşirelik bölümünde verilen beslenme eğitimi dersi ileride edinilen beslenme alışkanlıkları üzerine etkili değildir.

H₁: Hemşirelik bölümünde verilen beslenme eğitimi dersi ileride edinilen beslenme alışkanlıkları üzerine etkilidir.

Bu araştırmada aşağıdaki sorulara yanıt arandı: Beslenme eğitimi alan öğrencilerle beslenme eğitimi almayan öğrenciler arasında;

1. Antropometrik ölçümler arasında anlamlı farklılık var mıdır?
2. Beslenme alışkanlıkları arasında anlamlı farklılık var mıdır?
3. Sağlık davranışları arasında anlamlı farklılık var mıdır?

2.2. Araştırmanın Evren ve Örneklemi

Araştırma, Eylül 2017-Ocak 2019 döneminde gerçekleştirilip, çalışmaya Haliç Üniversitesi Hemşirelik Yüksekokulu 1. ve 3.Sınıf öğrencilerden oluşan 115 öğrenci dahil edildi. Çalışmada birinci ve üçüncü sınıfların seçilme nedeni; 1.Sınıfta beslenme eğitiminin olmaması, 3.Sınıfta beslenme eğitiminin bulunmasına bağlı olarak beslenme eğitimlerinin sağlık davranışları ve beslenme alışkanlıkları, ilaveten de antropometrik ölçümler üzerine etkisini değerlendirmek amacının güdülmesiydi. Araştırmanın evrenini 2017-2019 Öğretim Yılı'nda öğrenim gören 250 öğrenci oluşturdu. Örneklem sayısını belirlemede evreni belli olan örneklem formülü kullanıldı. Buna göre araştırmaya dahil etmemiz gereken en az sayı 151.68 iken ancak örneklem sayısı araştırmaya katılmayı kabul eden gönüllü öğrencilerden oluşturulabildi. Araştırma 1.Sınıf'lardan 59 öğrenci ve 3.Sınıf'lardan 56 olmak üzere 115 öğrenci ile tamamlanabildi.

2.3. Veri Toplama Araçları

Çalışmada veri toplama aracı olarak öğrencilerin sosyodemografik özellikleri, sağlık durumları, beslenme alışkanlıkları ve eğitim sürecinin bu alışkanlıkları üzerine etkilerini içeren anket formu, BIA yöntemiyle çalışan Yağ-Kas Ölçüm Cihazı (Tanita BC418 MA), boy ölçümü için stadiometre ve bel çevresi, kalça çevresi ölçümü için ise esnek şerit metre kullanıldı.

2.4. Veri Toplama Araçlarının Uygulanması

Yüz yüze görüşülerek uygulanan anket formuyla öğrencilerin bazı tanımlayıcı özellikleri (yaş, cins, buldukları sınıf, etnik köken, aile gelir düzeyi), sağlık durumları (alkol, sigara kullanımları, sistemsel hastalıkları, kullandıkları ilaç ve vitamin, mineral takviyeleri), beslenme alışkanlıkları ve eğitim sürecinin bu alışkanlıkları üzerine etkileri ile ilgili bilgi toplandı. Öğrencilerin Beden Kütle İndeksleri, ağırlık (Tanita BC418 MA ile ölçülen) ve boy ölçümleri (Stadiometre ile alınan) formülasyonda (kg/m²) yerine konarak hesaplandı. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ)'nün sınıflandırması referans olarak alındı. Bu sınıflandırmaya göre; BKİ <18.5 kg/m² olanlar "Zayıf", 18.5-24.9 kg/m² arasında olanlar "Normal", 25.0-29.9 kg/m² arasında olan bireyler "Hafif Şişman", 30.0-34.9 kg/m² arasında olanlar "2.Derece Obez" ve >40 kg/m² olanlar "3.Derece Obez" olarak değerlendirildi (DSÖ 2004).

Beslenme durumunun değerlendirilmesinde diğer önemli bir ölçüt olan; Bel ve Kalça Ölçümü (BKÖ) esnek bir şerit metre ile araştırmacılar tarafından alındı. Bel ve kalça ölçümlerinin oranına bakılarak, standartlarla karşılaştırıldı. DSÖ sınıflamasına

göre; Bel Kalça Oranı (BKO) kadın ve erkekte değişkenlik gösterdiğinden; kadınlarda BKO değeri 0.80 veya altında ise sağlık riskinin düşük, 0.81-0.85 ise orta derecede sağlık riskleri bulunduğu ve 0.86 veya üzerinde ise yüksek risk grubunda olduğu; erkeklerde ise 0.95 veya altında ise düşük riske sahip olduğu, 0.96-1.0 ise orta derecede risk bulunduğu ve 1.0 veya daha üzerinde ise yüksek risk taşıdıkları şeklindeki standartlarla (DSÖ, 2008) karşılaştırılarak sağlık bakımından risk grubunda olup olmadıkları belirlendi.

2.5. Araştırmanın Etik Boyutu

Çalışmaya başlamadan önce, Haliç Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu'ndan etik izin (11-2016/1116), Hemşirelik Yüksekokulu Müdürlüğü'nden kurum izni ve araştırmaya katılan gönüllü öğrencilerden de yazılı onam formu alındı.

2.6. Verilerin Analizi

Tüm verilerin istatistiksel olarak değerlendirilmesinde SPSS 16.0 istatistiksel programı kullanılmıştır. Sürekli ve kesikli sayısal değişkenlerin dağılımının normallik analizi Kolmogorov Smirnov Testi, Skewnes ve Kurtosis (-1,5 ve +1,5) ve $n \geq 30$ ile varyansların homojenliği ise Levene Testi ile araştırılmış olup, tanımlayıcı istatistikler sürekli ve kesikli sayısal değişkenler için ortalama, standart sapma, medyan, en düşük ve en yüksek şeklinde, kategorik değişkenler ise olgu sayısı ve (%) biçiminde gösterilmiştir. İki veya daha fazla değişken arasında anlamlılığın saptanması için Student's T Testi ve Tek Yönlü Varyans Analizi kullanılmıştır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Araştırma Sonuçları

Çalışmaya katılan 115 öğrencinin yaş ortalaması 21.2 ± 2.38 yıl olup çalışmada 18-33 yaş aralığında katılımcıların %73.9 'u (n=85) kız olup %26.1'i (n=30) erkektir. Öğrencilerin sınıf dağılım durumları incelendiğinde %50.4 'ünün 1.Sınıf, %47.8 'inin 3.Sınıf olduğu saptanmıştır. Ayrıca, katılımcı öğrencilerin %67.5 'i orta gelir düzeyine sahiptir.

DSÖ'ye göre incelendiğinde; çalışmadaki tüm öğrencilerin (1.Sınıf ve 3.Sınıf öğrencileri) %8.7'sinin "Zayıf" (<18.5 kg/m²), %71.3'ünün "Normal" beden kütle indeksinde (18.5-24.9 kg/m²), %17.4'ünün "Hafif Şişman" aralığında (25-29.9 kg/m²) ve %2.6'sının "Şişman" (>30 kg/m²) olduğu saptandı. Tablo 1'de katılımcıların sınıflara göre BKİ 'leri ele alındığında ise; 1. ve 3.Sınıf öğrencilerinin BKİdeğerleri arasında anlamlı fark saptanmamış olup (p=0.19), 1.Sınıfların %77.9'unun; 3.Sınıfların %64,3'ünün "Normal" BKİ (18.5-24.9 kg/m²) aralığında olduğu belirlendi. Anlamlı farklılık 1. ve 3. Sınıfların bel çevresi değerleri arasında bulunmuş olup (p=0.04) bel çevresi 75 cm den büyük olanların oranı 1.Sınıflarda %67.8 iken 3.Sınıflarda %39.3 olarak saptandı (Tablo 1).

Tablo 1. Öğrencilerin Antropometrik Ölçümleri (n=115)

BKİ (kg/m ²) (n=115)	1.Sınıf (n=59)		3.Sınıf (n=56)		p, x ²
	n	%	n	%	
< 18.5	5	8.5	5	8.9	p=0.19 x ² =3.27
18.5 – 24.9	46	77.9	36	64.3	
> 25	8	13.6	15	26.8	
Bel Çevresi (cm)					
56 – 65	6	10.2	11	19.6	p=0.04* x ² =9.40
66 – 74.9	13	22.0	23	41.1	
> 75	40	67.8	22	39.3	
Kalça Çevresi (cm)					
80 – 91.9	17	28.8	13	23.2	p=0.26 x ² =2.64
92 – 103.9	35	59.3	30	53.6	
> 104	7	11.9	13	23.2	
Yağ Yüzdesi (%)					
0 – 10.9	6	10.2	6	10.7	p=0.78 x ² =2.44
11 – 16.9	13	22.0	8	14.3	
17 – 22.9	15	25.4	15	26.8	
23 – 28.9	12	20.4	15	26.8	
> 29	13	22.0	12	21.4	

*p<0,05

Öğrencilerin BKO düzeylerinin sınıf ve cinsiyete göre dağılımı Tablo 2’de verilmiştir. BKO’su 0.8’in altında ve üzerinde olan kadınların sayısı sınıflara dair incelemelerinde, aralarında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki saptandı (p=0.03). Erkek öğrencilerin katılımcı olarak az sayıda olmaları nedeniyle p değerleri hesaplanamadı.

Çalışmaya katılan bütün öğrencilerin (1.Sınıf ve 3.Sınıf) beslenme alışkanlıkları incelendiğinde; katılımcılarda %69.6’ sının kahvaltı alışkanlığı olduğu ve sınıflarının dağılımına göre ise 1.Sınıfların %67.8’inin ve 3.Sınıfların %71.4’ünün sabahları kahvaltı yaptığı saptanmış olup, 1.Sınıflar ile 3.Sınıflar arasında kahvaltı alışkanlığı bakımından anlamlı fark bulunmadı (p=0.79). Katılımcıların %50.4’ünün kahvaltısını evde yaptığı belirlendi.

Tablo 2. Öğrencilerin BKO Değerlerinin Sınıf ve Cinsiyete Göre Dağılımı (n=115)

Bel / Kalça Oranı		1.Sınıf (n=45)	3.Sınıf (n=40)	p, x ²
Kadın	< 0,8	29	34	
	0,8 ve üzeri	16	6	
Erkek	< 0,9	11	14	
	0,9 ve üzeri	3	2	

*p<0,05

^ p ve ki-kare değerleri saptanmamıştır.

Bütün öğrencilerin (1.Sınıf ve 3.Sınıflar) %40.9’unun öğle yemeği yediği %52.2’sinin öğle yemeği yemediği tespit edildi. 1.Sınıfların beslenme eğitimi almadan %33.9 olan öğle yemeği tüketimi, eğitim sonrası (3.Sınıflar) %48.2’ye yükseldi (p=0.16). Çalışmaya alınan bütün katılımcılar arasında öğle yemeğinde en fazla et-balık-tavuk tüketildiği (%40.9) saptandı.

Çalışmadaki tüm öğrencilerin (1.Sınıf ve 3.Sınıflar) %76.5’inin akşam yemeğini atlamadığı ve %66.1’inin evinde akşam yemeğini yediği, dışarda akşam yemeği yiyenlerin

oranının %7 olduğu tespit edildi. Akşam yemeğinde de öğle yemeği ile benzer olarak en fazla et-balık-tavuk tüketildiği (%33), meyve yiyenlerinin oranının %0.9 olduğu bulundu. 1. ve 3.Sınıfların akşam yemeğini tüketip tüketmeme durumları arasında anlamlı bir farklılık saptanmadı (Tablo 3).

Tablo 3. Katılımcıların Sınıflarına Göre Ana Öğün Yapma Durumları (n=115)

Kahvaltı etme durumu	1.Sınıf (n=59)		3.Sınıf (n=56)		p, x ²
	n	%	n	%	
Evet	40	67.8	40	71.4	p=0.79 x ² =4.07
Hayır	5	8.5	3	5.4	
Bazen	14	23.7	13	23.2	
*Kahvaltıda yenilen besinler					
Simit	1	10	1	5	
Poğaç	1	10	2	10	
Tost	0	0.0	2	10	
Kahvaltı menüsü	4	40	10	50	
Karışık	4	40	5	25	
Kahvaltı edilen yer					
Evde	29	49.2	29	51.8	p=0.39 x ² =4.06
Yurtta	15	25.4	7	12.5	
Okulda	5	8.5	6	10.7	
Dışarda	10	17.0	14	25	
Öğle yemeği yeme durumu					
Evet	20	33.9	27	48.2	p=0.16 x ² =3.56
Hayır	33	55.9	27	48.2	
Bazen	6	10.2	2	3.6	
*Öğle yemeğinde yenilen besinler					
Süt – yoğurt	1	1.9	1	1.8	
Et – balık-tavuk	23	43.4	24	44.4	
Sebze	3	5.7	7	13.0	
Tahıl	4	7.5	1	1.8	
Meyve	4	7.5	1	1.8	
Karışık	18	34.0	20	37.0	
Akşam yemeği yeme durumu					
Evet	45	76.3	43	76.8	p=0.98 x ² =0.26
Hayır	9	15.3	8	14.3	
Bazen	5	8.5	5	8.9	
*Akşam yemeğinde yenilen besinler					
Süt – yoğurt	1	1.78	0	0.0	
Et – balık -tavuk	17	30.3	21	38.9	
Sebze	4	7.1	7	13.0	
Tahıl	4	7.1	1	1.8	
Meyve	0	0.0	1	1.8	
Karışık	30	53.6	24	44.4	
*Akşam yemeği yenilen yer					
Evde	37	66.1	39	72.2	
Yurtta	0	0.0	3	5.5	
Okulda	15	26.8	7	12.9	
Dışarda	4	7.2	5	9.2	

*p ve ki-kare değerleri saptanmamıştır.

Bütün katılımcıların ara öğün tüketim düzeyleri sorgulandığında %31.3’ünün ara öğün tükettiği, %41.7’sinin bazen ara öğün tükettiği saptandı. 1.Sınıfların %28.8’inin, 3.Sınıfların %33.9’unun ara öğün tükettiği bulunmuş olup ara öğün tüketimleri arasında anlamlı fark bulunmadı (p=0.81). Ara

öğünde 1.Sınıfların tükettiği besinler arasında süt-yoğurt yok iken 3.Sınıflardan ara öğün yapan katılımcıların %9.7'sinin süt-yoğurt tükettiği saptandı. Fakat öğrencilerin ara öğün tüketimlerinde tercih ettiği besinler arasında anlamlı fark bulunmadı ($p=0.36$) (Tablo 4).

Tablo 4. Katılımcıların Sınıflarına Göre Ara Öğün Yapma Durumları

Ara Öğün Tüketim Durumu	1.Sınıf (n=59)		3.Sınıf (n=56)		p, χ^2
	n	%	n	%	
Evet	17	28.8	19	33.9	p=0.81 $\chi^2=0.39$
Hayır	16	27.1	15	26.8	
Bazen	26	44.1	22	39.3	
*Ara Öğünlerde Tüketilen Besinler	1.Sınıf (n=43)		3.Sınıf (n=41)		
Süt – yoğurt	0	0.0	4	9.7	
Meyve suyu	0	0.0	1	2.4	
Hazır meşrubat	1	2.3	2	4.8	
Çay – kahve	1	2.3	3	7.2	
Kek – kurabiye	2	4.6	1	2.4	
Tost	1	2.3	1	2.4	
Bisküvi	2	4.6	3	7.2	
Meyve	0	0.0	1	2.4	
Çikolata	1	2.3	0	0.0	
Kuruyemiş	1	2.3	1	2.4	
Fast – food	0	0.0	1	2.4	
Karışık	34	79.1	23	56.1	

*p ve ki-kare değerleri saptanmamıştır.

Öğrencilerin hepsinin %53.9'unun öğle ve akşam yemeklerinde bazen hazır yemek tercih ettiği saptandı. 1.Sınıfların %27.2'sinin, 3.Sınıfların %25'inin hazır besin tercih ettiği saptanmış olup, aralarında anlamlı bir fark bulunmadı (Tablo 5).

Tablo 5. Beslenme Alışkanlıkları ve Beslenme ile İlgili Değişkenlerin Değerlendirilmesi

Hazır Besinleri Tercih Etme Durumu	1.Sınıf (n=59)		3.Sınıf (n=56)		p, χ^2
	n	%	n	%	
Evet	16	27.2	14	25	p=0.92 $\chi^2=0.16$
Hayır	11	18.6	12	21.4	
Bazen	32	54.3	30	53.6	
Beslenme Programı Uygulama	1.Sınıf (n=59)		3.Sınıf (n=56)		
Evet	13	22.1	7	12.5	p=0.17 $\chi^2=0.22$
Hayır	46	77.9	49	87.5	
Beslenme Programı Edinilen Kişi	1.Sınıf (n=13)		3.Sınıf (n=7)		
Kendisi	7	53.8	5	71.4	p=0.24 $\chi^2=2.78$
Diyetisyen	6	46.2	2	28.6	
Beslenme Dersinin Davranış Değişikliğine Etkisi	1.Sınıf (n=59)		3.Sınıf (n=56)		
Evet	10	16.9	23	41.1	p=0.04* $\chi^2=8.17$
Hayır	49	83.1	33	58.9	

*p<0.05

Çalışmaya katılan tüm öğrencilerin %28.7'si okulda aldıkları, beslenme dersinin sağlık alışkanlıkları üzerine etkili olduğunu belirtmişlerdir. Sınıflara göre bakıldığında ise; henüz eğitim almamış olan 1.Sınıflar ile (%16.9) almış olan 3.Sınıflar (%41.1) arasında beslenme dersinin davranış değişikliğine etkisi ile ilgili anlamlı farklılık saptandı ($p=0.04$). Beslenme dersinin alışkanlıkları üzerine etkili olduğunu belirten öğrenciler, en çok kahvaltı öğünü bakımından etkilendiklerini belirttiler (%9.6).

Çalışmaya katılan 1.Sınıf öğrencilerinin %44.2'sinin ve 3.Sınıf öğrencilerinin %55.8'inin vücut ölçülerinden memnun olduğu saptandı fakat aralarında anlamlı fark bulunmadı ($p=0.23$).

Katılımcıların %17.4'ünün beslenme programı uyguladığı belirlendi. Tüm öğrencilerin diyeti uygulama amacının sağlıklı yaşam olduğu (%45.7), bilgilere diyetisyen aracılığıyla ulaşıldığı bulunmuş olup (%20), %44,3 (n=51)'ünün spor yaptığı, spor aktivite dağılımlarına bakıldığında ise %42'sinin yürüyüş, %13.9'unun fitness ve %0.9'unun yuzduğu tespit edildi.

Çalışmaya alınan tüm katılımcılar arasında %70.4'ünün kronik hastalığının olmadığı ve %93'ünün düzenli olarak herhangi bir ilaç kullanmadığı saptandı. Vitamin mineral takviyesi alan öğrencilerden (n=25); 12 tanesinin B vitamini, 7 tanesinin multivitamin, ayrıca D vitamini, Fe ve Ca alan 2'şer öğrenci olduğu belirlendi.

3.2. Tartışma

Üniversite yıllarında öğrencilere beslenme yönünden yapılacak girişimler ve verilen eğitimler yanlış olan davranışlarının düzeltilmesinde ve ileride görülebilecek hastalıkların önlenmesinde yardımcı olabilir. Bu çalışmada da alınan beslenme eğitiminin beslenme ve sağlık davranışları üzerine etkisi araştırıldı. Çalışmaya alınan 115 öğrencinin yaş ortalaması 21.2 ± 2.38 yıl olup, %73.9'u (n=85) kız ve %26.1'i (n=30) erkekti.

Birinci sınıf öğrencilerinin %77.9'unun 3.Sınıf öğrencilerinin ise %64.3'ünün "Normal" BKİ aralığında ($18.5-24.9$ kg/m²) olduğu saptandı. Beden kütle indeksi 25 kg/m²'den büyük olanların oranının 3.Sınıf öğrencilerinde 1.Sınıf öğrencilerine göre daha yüksek olduğu (%26.8) ve katılımcı öğrencilerin %2.6'sının (>30 kg/m²) "Şişman" olduğu belirlendi. Sağlık Bakanlığı Sağlık Araştırmaları Genel Müdürlüğü'nün araştırma sonucuna göre 19 yaş ve üzerindeki grubun BKİ ortalamasının Dünya Sağlık Örgütü obezite sınıflamasına göre "Hafif Şişman" seviyesinde bulunduğu, yetişkinlerde obezite prevalansının %30.3 ve hafif şişmanlık sıklığının ise %34.6 oranında olduğu ifade edilmiştir (Sağlık Bakanlığı, 2014).

Çalışmada 3.sınıflarda normal BKİ'ye sahip olma oranının, 1.Sınıflara göre daha düşük olmasının nedeni bu dönemde görmüş oldukları derslerin yükünün 1.Sınıfa göre daha ağırlıklı olup, bunun sonucu olarak sedanter yaşama yönelmelerine bağlı olabilir.

Çalışmaya katılan öğrencilerin diğer antropometrik ölçümlerine bakıldığında bel çevresi 75 cm üzerinde olan öğrencilerin oranı 1.Sınıf öğrencilerinde %67.8; 3.Sınıf öğrencilerinde ise %39.3 oranındadır. 1. ve 3.Sınıf öğrencilerinin

bel çevresi ölçümleri arasında anlamlı farklılık bulunmamaktadır ($p=0.04$). Bu farklılığın nedeni 3.Sınıfta adolesan dönemin sonlarına yakın olup vücut proporsiyonlarının stabilleşmesine bağlanabilir. Katılımcıların ortalama yağ yüzdesi %17-22 aralığında olup; 1.ve 3.Sınıflar arasında anlamlı fark saptanmamıştır. DSÖ' nün sınıflamasına göre Bel/Kalça Oranı dağılımı kadınlarda <0.85 ve erkeklerde <0.90 olmalıdır (DSÖ, 2008).

Çalışmadaki tüm öğrencilerin (1.Sınıf ve 3.Sınıflar) %76.5'inin akşam yemeğini atlamadığı ve %66.1'inin evinde akşam yemeğini yediği bulunmuş olup, evde daha sağlıklı beslenebilmelerine bağlı olarak da çoğunun(%71.3) "Normal" beden kütle indeksinde olduğu saptandı. Gençlerin aile ile birlikte yemek yemelerinin ve yemek yeme alışkanlıklarının Beden Kütle İndeksi (BKİ) ile ilişkisine dair yaptıkları başka bir çalışmada; 13-17 yaşları arası rastgele seçilen adolesanlara anket uygulanarak yeme alışkanlıkları sorgulanmış ve BKİ'leri ölçülmüştür. Gençlerin yaklaşık %60'ının aileleriyle haftada 5 veya daha çok öğünde bir araya geldiği belirlenmiştir. Sık olarak aile ile yemek yemenin meyve ve sebze tüketimini artırdığı ve kahvaltı etme alışkanlığını kazandırdığı bulunmuştur; ancak aile yemeklerine katılımla BKİ arası ilişki bulunmamıştır (Koseoglu & Tayfur, 2017).

Yapılan çalışmada, bütün katılımcıların %69.6'sının kahvaltı alışkanlığı olduğu, 1.Sınıfların %67.8'inin ve 3.Sınıfların %71.4'ünün sabahları kahvaltı yaptığı saptandı. 1.Sınıflar ile 3.Sınıflar arasında kahvaltı alışkanlığı bakımından anlamlı fark saptanmadı ($p=0.79$). Katılımcıların %40.9'unun öğle yemeği yediği %52.2'sinin öğle yemeği yemediği tespit edildi. Öğrencilerin beslenme alışkanlıklarını belirlemek için yapılan başka bir çalışmada günde üç öğün beslenenlerin oranı %48.9, üç öğünden az beslenenler %24.8 bulunmuş ve kahvaltı tüketim durumlarına göre %34.4 öğrencinin kahvaltısını düzenli olarak yaptığı, sık kahvaltı etmeyenlerin ve hiç etmeyenlerin %65.6 olduğu görülmüştür (Mazıcıoğlu & Öztürk, 2003). Sakamaki ve arkadaşları ise yaptığı çalışmada; günde 3 öğün yemek yenilme oranının %79.0 olduğunu tespit etmiştir (Sakamaki, Toyama & Amamoto, 2005). Yardımcı'nın Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi'nde yaptığı çalışmada en çok kahvaltı öğününün yapılmayıp, atlandığı bulunmuştur. Yapılan bu çalışmada ise, kahvaltı öğününün yapmayanların %51.0 oranında olduğu saptanmıştır. Kahvaltı öğününün düzenli olması, besin öğeleri yönünden ve öğrencilerin başarısına katkısı bakımından büyük değere sahiptir (Yardımcı & Özçelik, 2015). Çünkü kahvaltının düzenli yapılması, enerji ve besin öğelerine katkı sağlamasının yanı sıra, okul başarısı üzerinde de olumlu etkiler yaratmaktadır (Ruxton & Kirk, 1997).

Katılımcı öğrencilerin %50.4'ünün kahvaltısını evde yaptığı ve 1. Sınıf öğrencilerinin %40'ının ve 3. Sınıf öğrencilerinin %50'sinin kahvaltıda karışık besinleri tükettikleri belirlendi. Mazıcıoğlu'nun yürüttüğü çalışmada; üniversite öğrencilerinin sabah kahvaltısı ve akşam yemeğini evde yemeyi tercih ederken öğle yemekleri için okul yemekhanesini tercih ettiğini belirtmiştir (Mazıcıoğlu & Öztürk, 2003).Yapılan çalışmada da benzer olarak bütün öğrencilerin %60'ının kahvaltısını evde yaptığı; %67'sinin ise akşam yemeğini evde yediği saptanmıştır. Öğle yemeğini ise %33.9'unun okulda yediği saptandı. Yılmaz ve arkadaşlarının yürüttüğü farklı çalışmada; öğrencilerin kahvaltı öğününde çay (%81.1), simit ve ekmek (%48.6) gibi

gıdaları daha sık tükettikleri belirlenmiştir. (Yılmaz & Özkan, 2007).

Birinci sınıfların beslenme eğitimi almadan %33.9 olan öğle yemeği tüketimi eğitim sonrası %48.2'ye yükseldiği görüldü ($p=0.16$). Katılımcıların tümünün öğle yemeğinde en fazla et-tavuk-balık tükettiği (%40.9), akşam yemeğinde de benzer olarak en fazla et-tavuk-balık tükettikleri (%33), meyve yiyenlerinin oranının %0.9 olduğu belirlendi. Yapılan başka bir çalışmada, öğle ve akşam yemeklerinde ekmek (%62.9), çorba (%83.4), pilav (%58.3) ve makarna (%55.4) gibi karbonhidrat ağırlıklı yiyecekleri daha sık, et (%10.9), süt, yoğurt ve ayran (%29.1) gibi protein ağırlıklı besinleri daha az tükettiklerini ve ara öğünlerde en fazla çay (%65.7) içtikleri ifade edilmiştir (Yılmaz & Özkan, 2007).

Öğrencilerin %53.9'unun öğle ve akşam yemeklerinde bazen hazır yemek tercih ettiği belirtildi. Hazır besin tercihinde bulunmayan öğrenci oranının %19 olduğu saptandı. Çukurova Üniversitesinde 357 öğrencide yapılan bir çalışmada ise; fastfood türü gıda tüketiminin %87.7 olduğu, bu ürünlerin hazırlanmasının ve tüketilmesinin fazla zaman gerektirmemesi, lezzetli ve fiyatının uygun olması nedenleriyle tercih edildiği belirtilmiştir (Özdiç, 2004). Fastfood beslenme üniversite öğrencileri arasında yaygındır. Üniversite öğrencilerinin fastfood besin tüketiminin olumsuz etkileri hakkında öğrencilerin bilgilendirilmesi, ev yemekleri tüketim alışkanlığının sıklaştırılması göz önünde bulundurulmalıdır (Subaşı, 2019).

Çalışma bulgularına göre, vitamin mineral takviyesi alan öğrencilerden ($n=25$); 12 öğrencinin B vitamini, 7 öğrencinin multivitamin, ayrıca D vitamini, Fe ve Ca alan 2'ser öğrenci olduğu saptandı. Hemşirelik bölümü öğrencileri ile yapılan başka bir çalışmada en fazla kullanılan vitamin ve mineral takviyelerinin sırası ile demir preparatları (%42.0), B grubu vitaminler (%37.0), çoklu vitamin ve mineraller (%13.6), kalsiyum (%3.7) ve çoklu vitaminlerdir (%3.7). 3. ve 4.Sınıf öğrencilerinin en sık B grubu vitaminleri, 1. ve 2.Sınıf öğrencilerinin ise en çok örneklem geneline aynı şekilde demir preparatları kullandıkları belirtilmiştir (Yılmaz & Ayhan, 2017).

Katılımcıların, Hemşirelik Bölümü öğrencileri olduğu bu çalışmada, 1.Sınıfların %24.1'inin; 3.Sınıfların ise %33.3'ünün alkol kullandığı; sigara tüketiminin ise 1.Sınıflarda %18,9; 3.Sınıflarda %28.3 olduğu tespit edildi. Şimşek ve arkadaşlarının yürüttüğü çalışmaya göre; sigara kullanan öğrencilerin %25.4, alkol ve madde kullananların ise %2.5 olduğu belirlenmiş olup, cinsiyete göre incelendiğinde, erkeklerin kızlardan daha fazla alkol ve sigara tükettikleri belirtilmiştir (Şimşek, Koruk & Altındağ, 2007). El Salvador'da yapılan diğer bir çalışmada (Springer ve ark.) üniversite öğrencilerinde sigara içme ve madde kullanım oranı sırasıyla; %14.4 ve %4.9 olarak saptanmıştır (Springer, Selwyn & Kelder, 2006). Yapılan çalışmada, sigara içme oranının düşük olması sağlık konularında verilen eğitimden kaynaklanabilir.

Çalışmada, %44.3 ($n=51$)'ünün spor yaptığı, spor aktivite dağılımlarına bakıldığında ise %42'sinin yürüyüş, %13.9'unun fitness ve %0.9'unun yüzdüğü tespit edildi. Diğer bir çalışmanın sonuçlarına göre; üniversitelerin çeşitli fakülte ve bölümlerinde eğitim gören 1105 öğrencide, sigara kullanma ve fiziksel aktivite durumlarının sağlık alanında öğrenim gören öğrencilerin diğer bölümlere göre daha düşük olduğu belirlenmiştir (Ermiş, Doğan, Erilli & Satıcı, 2015). Yapılan çalışmada %44.3 kişinin yani az

sayıda kişinin spor yapması yapılan fiziksel aktivitenin düşük olmasının nedeni ise sağlık bilimleri alanında alınan derslerin genellikle zaman bakımından yoğun ve uygulamaya dayalı olmasına bağlanabilir

4. Sonuç

Meslek sürecinde sağlıklı yaşam ile ilgili olarak çevrelerine katkı sağlayacak ve genel anlamda toplum sağlığını geliştirecek hemşirelik öğrencilerine verilen derslerin sağlıklı yaşam biçimi davranışları kazandırmaya yönelik olması büyük öneme sahiptir. Hemşirelik öğrencilerinin, sağlıklarını korumak, geliştirmek ve topluma uygun rol model olmalarını sağlamak için, verilecek beslenme eğitiminin artırılması, üniversitelerde düzenli aralıklarla beslenme konularında konferanslar, seminerler ve söyleşiler düzenlenmesi, bu genç nüfusun sağlıklı yaşam biçimi davranışları ve sağlıklı diyet için teşvik edilmesi öneriler arasındadır. Bunlara ek olarak; bu davranışlar üzerinde etkili olan faktörlere yönelik olarak daha geniş kapsamlı ve çok merkezli araştırmaların planlanması yapılabilir.

Kaynakça

- Baysal, A. (2007). Beslenme. Ankara: Şahin Matbaacılık.
- Benjelloun, S. (2002). Nutrition transition in Morocco. *Public Health Nutrition*, 5(1a), 135-140.
- Colić, Barić, I., Šatalić, Z., & Lukešić, Ž. (2003). Nutritive value of meals, dietary habits and nutritive status in Croatian University students according to gender. *International journal of food sciences and nutrition*, 54(6), 473-484.
- Demir, H., Özkorucuklu, Y.N. (2018). Üniversite Öğrencilerinde Süt ve Süt Ürünleri Tüketimi, Kalsiyumun Antropometrik Ölçümlerle İlişkisi. *İstanbul Gelişim Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 5, 494-516.
- Ermiş, E., Doğan, E., Erilli, N.A. & Satıcı, A. (2015). Üniversite Öğrencilerinin Beslenme Alışkanlıklarının İncelenmesi: Ondokuz Mayıs Üniversitesi Örneği. *Spor ve Performans Araştırmaları Dergisi*, 6(1), 30-40.
- Kaleli, S. (2017). Sakarya Üniversitesi Tıp Fakültesi öğrencilerinin beslenme alışkanlıkları. *Online Türk Sağlık Bilimleri Dergisi*, 2.2, 12-18.
- Korkmaz, N. H. (2010). Uludağ Üniversitesi Öğrencilerinin Spor Yapma ve Beslenme Alışkanlıklarının İncelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 23.2, 399-413.
- Köseoğlu, S.Z.A., Tayfur, A.Ç. (2017). Adolesan Dönemi Beslenme ve Sorunları. *Güncel Pediatri JCP*, 15(2), 50-62.
- Mazicioğlu, M., Öztürk, A. (2003). Üniversite 3 ve 4. Sınıf Öğrencilerinde Beslenme Alışkanlıkları ve Bunu Etkileyen Faktörler. *Erciyes Tıp Dergisi*, 25 (4), 172-178.
- Özdiñ, İ.Y. (2004). Üniversite Öğrencilerinin Fast-Food Tüketim Alışkanlıkları Ve Tüketim Noktası Tercihlerini Etkileyen Faktörler. *Anatolia: Turizm Araştırmaları Dergisi*. 15(1), 71-79.
- Ruxton, C.H.S, Kirk, T.R. (1997). Breakfast: A Review of Associations With Measures of Dietary Intake, Physiology and Biochemistry. *Br J Nutr*, 78,199-213
- Sakamaki, R., Toyama, K., Amamoto, R. et al. (2005). Nutritional Knowledge, Food Habits And Health Attitude of Chinese University Students A Cross Sectional Study. *Nutrition Journal*, 4(1), 4.
- Sağlık Bakanlığı Araştırmaları Genel Müdürlüğü (2014). Türkiye Beslenme ve Sağlık Araştırması. Beslenme Durumu

- ve Alışkanlıklarının Değerlendirilmesi Sonuç Raporu. Sağlık Bakanlığı Yayın No: 931, Ankara.
- Şimşek, Z., Koruk, İ., Altındağ, A. (2007). Harran Üniversitesi Tıp Fakültesi ve Fen-Edebiyat Fakültesi Birinci Sınıf Öğrencilerinin Riskli Sağlık Davranışları. *Toplum Hekimliği Bülteni*, 3 (26).
- Subaşı, Z. (2019). Özel Bir Kurumda Çalışan Bireylere Verilen Beslenme Eğitiminin Bireylerin Sağlıklı Beslenmeye İlişkin Algı ve Tutumlarına Etkisi. Türkiye, Başkent Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Springer, A.E., Selwyn, B.J. & Kelder, S.H. (2006). A Descriptive Study Of Youth Risk Behavior In Urban and Rural Secondary School Students in El Salvador. *BMC International Health and Human Rights*, 6(1),3.
- Utter, J., Denny, S., Robinson, E., Fleming, T., Ameratunga, S. & Grant, S. Family Meals Among New Zealand Young People: Relationships with Eating Behaviors and Body Mass Index. *J. Nutr. Educ. Behav.*, 45(1), 3-11.
- World Health Organization. (2004). Appropriate Body-Mass Index For Asian Populations and Its Implications for Policy and Intervention Strategies. *Lancet* 363(9403), 157.
- World Health Organisation. (2008). Waist Circumference and Waist-hip Ratio: Report of A WHO Expert Consultation. Geneva: World Health Organization, 8-11.
- Yardımcı, H., Özçelik, A. (2015). Üniversite Öğrencilerinin Öğün Düzenleri ve Beslenme Eğitiminin Beslenme Bilgisine Etkisi, *Beslenme Diyetetik Dergisi*, 43(1), 19-26.
- Yılmaz, E., Özkan, S., (2007) Üniversite Öğrencilerinin Beslenme Alışkanlıklarının İncelenmesi. *Fırat Sağlık Hizmetleri Dergisi*, 2(6),87-104.
- Yılmaz, H.Ö., Ayhan, N.Y. (2017). Hemşirelik Öğrencilerinin Bazı Beslenme Alışkanlıklarının Değerlendirilmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 6(1): 17-24.
- Yfanti, E., Tsiriga, S., Yfantis, A., Tiniakou, I. & Mastrapa, E. (2011). Nutrition Knowledge In Students of A Nursing School. *Health Science Journal*, 5(2), 485-489.



Comparison of Subgrade Reaction Coefficient Values Obtained With Different Approaches in Soil Investigations

Nuray Alpaslan^{1*}

^{1*} Batman University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Civil Engineering, Batman, Turkey, (ORCID: 0000-0001-6430-1222),
nuray.alpaslan@batman.edu.tr

(First received 10 July 2020 and in final form 12 January 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.767975)

ATIF/REFERENCE: Alpaslan, N. (2021). Comparison of Subgrade Reaction Coefficient Values Obtained With Different Approaches in Soil Investigations. *European Journal of Science and Technology*, (21), 223-229.

Abstract

It is known that the calculation of soil parameters in different ways in geotechnical engineering is important in terms of interpretation and obtaining reliable results. The subgrade reaction coefficient can generally be calculated by field loading tests, laboratory tests and various empirical relations. The subgrade reaction coefficient obtained by using different methods and empirical relations can have very different values. The subgrade reaction coefficient calculations, which are one of the most important parameters used in the interaction of the soil and structure, are mostly not used correctly and the large differences between the results obtained with various approaches affect the determination of the subgrade reaction coefficient in a realistic manner. Subgrade reaction coefficient depends on soil settlement and elastic modulus and therefore on parameters such as Poisson ratio, soil type, unit volume weight values, seismic velocities, safe bearing capacity value. In this study, the previous correlations of various researchers in determining the subgrade reaction coefficient were examined.

In the light of these studies, the subgrade reaction coefficient values calculated from the data obtained from three different locations in Batman city were compared and their compatibility was questioned. It was determined that the subgrade reaction coefficient values obtained from the Standard Penetration Test (SPT) impacts provided higher and different results than the others, and the subgrade reaction coefficient values calculated according to the S wave speed obtained from the safe bearing capacity value, geophysical measurements and soil settlement provided closer results. S wave velocity obtained from seismic methods provides information about the resistance, strength and rigidity of the units on the soil. Therefore, the formulas calculated using S wave velocity is important. Standard Penetration Test (SPT) can yield misleading results when standard and qualified equipment is not used and when it is applied by personnel with insufficient experience. The same impact and power may not be applied to the soil every time during the application phase. This results in misleading and unreliable blow counts. Therefore, calculating the subgrade reaction coefficient, especially in structures with a settlement problem, by considering all of these parameters will give more reliable results.

Keywords: Safe bearing capacity, Settlement, S wave velocity, Subgrade reaction coefficient.

Zemin Araştırmalarında Farklı Yaklaşımlardan Elde Edilen Zemin Yatak Katsayısı Değerlerinin Karşılaştırılması

Öz

Geoteknik mühendisliğinde zemin parametrelerinin farklı şekillerde hesaplanmalarının yorumlama ve güvenilir sonuçlar elde edilmesi açısından önemli olduğu bilinmektedir. Zeminlerin yatak katsayısı genel olarak arazide yükleme deneyleri, laboratuvar deneyleri ve çeşitli ampirik bağıntılarla hesaplanabilmektedir. Farklı yöntemler ve ampirik bağıntılar kullanılarak elde edilen zemin yatak

* Corresponding Author: nuray.alpaslan@batman.edu.tr

katsayıları çok farklı değerler alabilmektedir. Zemin ve yapı birlikteliğinde kullanılan en önemli parametrelerden biri olan yatak katsayısı hesaplamaları çoğunlukla doğru kullanılmamakta ve çeşitli yaklaşımlarla elde edilen sonuçları arasındaki farkların büyük olması yatak katsayısının gerçekçi bir şekilde belirlenmesini etkilemektedir. Zemin yatak katsayısı zeminin oturması ve elastisite modülü dolayısıyla poisson oranı, zemin türü, birim hacim ağırlık değerleri, sismik hızları, zemin emniyet gerilmesi gibi parametrelere bağlıdır. Bu çalışmada zemin yatak katsayısının belirlenmesinde çeşitli araştırmacıların daha önce yaptığı bağıntılar incelenmiştir. Bu çalışmalar ışığında Batman şehrinde üç farklı lokasyonda alınan verilerden hesaplanan zemin yatak katsayısı değerleri karşılaştırılmış ve uyumluluğu sorgulanmıştır. Standart Penetrasyon Deneyleri (SPT) darbe sayılarından elde edilen zemin yatak katsayısı değerlerinin daha yüksek ve diğerlerine göre farklı sonuçlar verdiği, zemin emniyet gerilmesi, zemin oturması ve jeofizik ölçümlerden elde edilen S dalga hızına göre hesaplanan zemin yatak katsayısı değerlerinin birbirlerine daha yakın sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Sismik yöntemlerden elde edilen S dalga hızı zemindeki birimlerin dayanım, mukavemet ve rijitliği ile ilgili bilgi vermektedir. Dolayısıyla S dalga hızı kullanılarak hesaplanan bağıntılar önem taşımaktadır. Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) standart ve nitelikli ekipman kullanılmadığında, yeterli deneyimi olmayan personel tarafından uygulandığında yanıltıcı sonuçlar verebilir. Uygulanma aşamasında her seferinde zemine aynı etki ve güç verilemeyebilir. Bu durum da yanıltıcı ve güvenilir olmayan darbe sayıları elde edilmesine yol açar. Dolayısıyla zemin yatak katsayısının, özellikle oturma problemi olan yapılarda bütün bu parametrelerin bir arada düşünülerek hesaplanması daha güvenilir sonuçlar verecektir.

Anahtar Kelimeler: Oturma, S dalga hızı, Zemin emniyet gerilmesi, Zemin yatak katsayısı.

1. Introduction

It is the characteristic features of the soil that largely determine the reliability of engineering structures. One of the most important objectives of geotechnical design is the examination of the laboratory and field data by correlating and evaluating and using these data correctly in the project design. The subgrade reaction coefficient calculations, which are one of the most important parameters used in the interaction of the soil and structure, are mostly not used correctly and the large differences between the results obtained with various approaches affect the determination of the subgrade reaction coefficient in a realistic manner. The subgrade reaction coefficient obtained by using different methods and empirical relations can have very different values. Many factors play a role in the soil and structure interaction. It is especially important to evaluate and interpret the subgrade reaction coefficient in a wide range with different approaches by considering the effect of all formations under the construction foundation. Although the subgrade reaction coefficient value is not a soil constant by itself, the value of this parameter is related to many factors such as settlement of soil due to deformation characteristics, foundation and soil stiffness, type of soil, foundation plan dimensions, foundation depth, soil stratification and soil elasticity module. Many researchers have developed various empirical approaches in studying the subgrade reaction coefficient (Biot 1937; Terzaghi, 1955; Vesic 1961; Meyerhof and Baike, 1965; Bowles, 1982; Selvadurai, 1984; Bowles, 1998; Kahraman et al., 2007; Tezcan et al., 2007; Keçeli, 2010). Othman (2005) developed experimental correlations between seismic velocities, rock quality and subgrade reaction coefficient. Moayed and Janbaz (2008) have developed models with the Plaxis program using the field plate loading tests carried out on clayey soil to find the subgrade reaction coefficient in their study.

2. Material and Methods

In this study, the previous correlations of various researchers in determining the subgrade reaction coefficient were examined. The subgrade reaction coefficient values calculated from the data obtained from three different locations in Batman city were compared and their compatibility was questioned. Drilling was done using a hydraulic type rotary drilling machine in the

determined locations. Disturbed (SPT) samples were taken to identify the physical and mechanical aspects of the soil layers penetrated while boring a well. Standard Penetration Test (SPT) was performed in order to determine the physical and mechanical properties of the soil layers in the drilled wells. The test consists of driving a split spoon sampler into the soil through a borehole 55 to 100 mm (2 to 4 inch) in diameter at the desired depth. It is done by a hammer weighing 63.5 kg (140 lb) dropping onto a drill rod from a height of 750 mm (30 inch). The number of blows N required to produce a penetration of 300 mm (12 inches) is regarded as the penetration resistance. To avoid seating errors, the blows for the first 150 mm (6 inches) of penetration are not taken into account; those required to increase the penetration from 150 mm to 450 mm constitute the N-value (Coduto, 2000).

The first theoretical study was carried out by Winkler (1867) on subgrade reaction coefficient. According to Winkler (1867), this theory is based on the foundation that the soil is in an elastic environment and consists of an infinite number of independent arcs adjacent to each other. The arcs provide the relation between basic soil pressure and soil deformation, and the subgrade reaction coefficient approach is considered as a mathematical model established for the soil, which is a constant environment. Subgrade reaction coefficient (k_s) accepts the floor as an elastic environment and expresses the flexibility of the arcs representing this environment. It is defined, as given in the Equation (1), as the ratio between the pressure (q_a) at one point on the soil and the settlement of the same point (ΔH) (Uzuner, 2000; Kanit, 2003).

$$k_s = \frac{q_a}{\Delta H} \quad (1)$$

The subgrade reaction coefficient can be calculated by making use of the number of subgrade reaction coefficient (k_s) defined according to the soil type. Table 1 shows the subgrade reaction coefficient value ranges in various soil types provided by Bowles (1996). The subgrade reaction value can be calculated according to the type of soil using different empirical relations, the Standard Penetration Test (SPT), the safe bearing capacity value, the soil settlement, and the seismic S wave velocity obtained from geophysical measurements.

Table 1. Subgrade reaction coefficient (ks), kN/m³ (Bowles, 1996)

Soil Type	Subgrade reaction coefficient (ks), kN/m ³
Loose Sand	4.800- 16.000
Medium Sand	9.600- 80.000
Dense Sand	64.000- 128.000
Silty Medium Sand	24.000-48.000
Clayey Soil (qu<0.2 Mpa)	12.000-24.000
Clayey Soil (qu= 0.2-0.4 Mpa)	24.000-48.000
Clayey Soil (qu> 0.8 Mpa)	>48.000

2.1. Calculation of Subgrade Reaction Coefficient with Standard Penetration Test (SPT) (Scott, 1981)

It can be calculated according to the Equation (2) proposed by (Scott, 1981) in accordance with the blow counts in the Standard Penetration Test (SPT).

$$k_s = 1800 * N_{30} = \text{kN/m}^3 = 180 * N_{30} = \text{t/m}^3 \quad (2)$$

2.2. Calculation of Subgrade Reaction Coefficient According to the Approach with Safe Bearing Capacity Value (Bowles, 1988)

Bowles proposed Equation (3) in the calculation of the subgrade reaction coefficient according to the safe bearing capacity value of the soil, since the foundation structure is 10 times more rigid than the soil.

$$k_s = 40 q_{sult} = 40 (G_s) q_a \quad \text{kN/m}^3 \quad (3)$$

In Equation (3), q_a ; represents safe bearing capacity value (kN/m²), G_s ; represents safety coefficient.

2.3. Calculation of Subgrade reaction coefficient According to Settlement (Bowles, 1988) Approach

It can be calculated by using the Equation (4) proposed by (Bowles, 1988) using the settlement value of the soil.

$$k_s = q_{net}/(S/1000) \quad (\text{kN/m}^3) \quad (4)$$

In Equation (4), q_{net} ; represents net soil pressure (kN/m²), and S ; settlement (mm).

2.4. Subgrade Reaction Coefficient Estimation According to Geophysical S Wave Velocity (Vs) Measurements (Tezcan et al., 2010)

The seismic horizontal (shear) wave is directly related to determining the mechanical properties and shear strength of the soil. Therefore, determination of S-velocity changes of undersoiler layers is crucial in geotechnical engineering investigations. Physical properties of undersoiler layers such as modulus of elasticity can be obtained much more accurately and quickly with seismic velocities obtained from seismic methods. Since the soil does not always have elastic behavior, it is important to

know the modulus of elasticity in approximate calculations. The modulus of elasticity defined by seismic velocities is shown in Equation (5) (Keçeli, 2010).

$$E = (\rho V_s^2) \frac{3V_p^2 - 4V_s^2}{V_p^2 - V_s^2} \quad (5)$$

In Equation (5); represents density (gr/cm³), V_p ; P wave velocity (m/sn), and V_s ; S wave velocity (m/sn).

Subgrade reaction coefficient is generally shown in Equation (6) according to the Hooke's law.

$$k_s = \frac{q}{\delta} = \frac{q \text{ (kN/m}^2\text{)}}{\delta \text{ (m)}} \quad \text{kN/m}^3 \quad (6)$$

In this study, S Wave Velocity measurements and the determination of subgrade reaction coefficient/settlement estimation can be calculated according to (Tezcan et al., 2010). The relationship between the elastic modulus of the soil (E), settlement value (d) and the subgrade reaction coefficient (ks) was examined by using S wave velocity according to (Tezcan et al., 2010). According to (Tezcan et al., 2010) (Figure 1) settlement of a soil column with vertical load (P), cross-sectional area (A) and height (H) is shown in equation (7) when the column is under axial P - load or safe bearing capacity stress.

$$d = PH/AE = qf = H/E \quad (7)$$

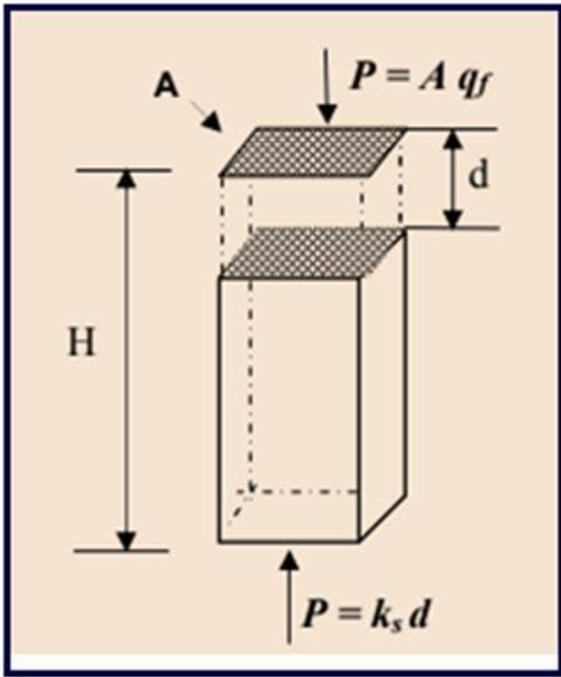


Figure 1. Settlement, d , subgrade reaction coefficient, k_s (Tezcan et al., 2010)

The subgrade reaction coefficient (k_s) is the soil stress required to make unit settlement on a soil column in a unit cross-section area. When the settlement amount is d , the vertical stress acting on the soil column in the unit cross-section area is given in (8) (Tezcan et al., 2010).

$$qf = k_s d \quad (kN/m^2) \quad (8)$$

With the help of Equation (8), the vertical stress of the soil is shown in Formula (9).

$$qf = Ed/H \quad (9)$$

If the equation is equalized with (8) and (9), the modulus of elasticity is obtained as in equation (10).

$$E = H k_s \quad (kN/m^2) \quad (10)$$

The relationship between the bearing power of the soils qf and the subgrade reaction coefficient k_s is shown in Bowles (1982) Equation (11).

$$k_s = 40 qf \quad (kN/m^3) \quad (11)$$

According to (Tezcan et al., 2010), bearing capacity of the soil is shown in Formula (12).

$$qf = n qa = 0.1 \gamma V_s \quad (kN/m^2) \quad (12)$$

In Equation (12); qf ; represents the bearing capacity of soil, n ; safety factor, qa ; safe bearing capacity value (kN/m^2), γ ; soil unit weight (kN/m^3) and V_s ; shear wave velocity (m/sn). Equation (14) is achieved for elastic settlements when qf expression provided with Equation (12) is placed in Equation (13).

$$k_s = 40 qf = 40(0.1)\gamma V_s = 4\gamma V_s \quad (k/m^3) \quad (13)$$

$$d = qf / k_s = 0.1\gamma V_s / 4\gamma V_s = 0.025 \text{ m} \quad (14)$$

In Equality (12), Tezcan et al. (2010) proposed Formula (15) for subgrade reaction coefficient depending on shear wave velocity by using the Equation (13) provided by Bowles (1982) in which qf ; bearing capacity at the time of failure, H ; layer thickness for elastic modulus, qa ; safe bearing capacity value, γ ; unit volume weight and n ; safety factor ($n=4$) were experientially provided.

$$k_s = 4 \gamma V_s \quad (kN/m^3) \quad (15)$$

The safe bearing capacity value formula determined based on the shear wave velocity is always in the order of $d = 0.025 \text{ m}$ (Terzaghi and Peck, 1967).

3. Results and Discussion

In this study, the subgrade reaction coefficient values calculated from the data obtained from three different locations in Batman city were compared and their compatibility was questioned.

Field features-1

In the study area, foundation depth is 6, foundation width is 24 and foundation length is 20.5 meters. In the drillings, vegetal soil is found between 0,30 m, silty clays between 0,30-6,00 m, silty sands between 6,50-7,50 m, gravel, sandy and silty clays between 7,50-9,00 m, silty sands between 9.00- 10.50, gravel, sandy and silty clays between 10.50-14.00 m, gravel, sandy and silty clays with high plasticity between 14.00-20.00 m. The SPT values were found as SPTN30 = 19 due to the fact that the test was carried out under the soil water level, the soil type consisting of thin sand or silty sand and carrying out silty sand correction due to $N > 15$ blow / 30 cm value. Unit volume weight of the soil was found as γ : 19.0 kN/m^3 . According to seismic measurements, the first layer was located to a depth of 1.63 meters, P wave velocity was calculated as $V_p = 323 \text{ m / sec}$ and S wave velocity as $V_s = 211 \text{ m / sec}$. The next layer was located up to a depth of 6.56 and had medium dense soil properties according to the calculated S wave velocity value and field works conducted and in this layer, medium dense clayey units with P wave velocity $V_p = 908 \text{ m / sec}$ and S wave velocity $V_s = 230 \text{ m / sec}$ were found. The seismic velocity of the second layer was taken since the foundation depth was 6 meters. The parameters used in the bearing capacity and safe bearing capacity were found as cohesion (c) 38 kg/cm^2 , shear strength angle (ϕ^0) 5^0 . According to Terzaghi and Pack (1967), bearing capacity was found as 555.6341 kN/m^2 and safe bearing capacity was found as 147.2114 kN/m^2 (1.50 kg/cm^2) when net load was 441.6341 kN/m^2 . The average pressure increase in the soil layer was found as (Δq) 0.46 kgf / cm^2 , the compressible soil layer thickness (H) as 20 meters, and volumetric compression coefficient (M_v) as 0.00291 cm^2 / kgf . The consolidation settlement calculated according to Bowles (1988) was found as 26 mm by using these values.

For this field sample, subgrade reaction coefficient values (Figure 2) were calculated as 34200 kN / m³ according to Scott, 1981; safe bearing capacity value was calculated as 17640 kN / m³ according to Bowles, 1988; soil settlement value was calculated as 16962 kN / m³ according to Bowles, 1988 and seismic S wave velocity was calculated as 17480 kN / m³ according to Tezcan et al., 2010. Scott's (1981) formula provided the highest subgrade reaction coefficient value. This value was found higher compared to other methods. Therefore, it can be stated that the results of SPT will not be very healthy

considering that this formula only uses blow count for the calculation of subgrade reaction coefficient affected by many parameters and the disadvantages of this test. Closer values were found in results obtained with other methods. The formula of Bowles, 1988 calculated in accordance with settlement provided the lowest subgrade reaction coefficient. It is thought that the safety factor value used in the safe bearing capacity formula of Terzaghi and Peck (1967) had an effect on the result calculated in accordance with the safe bearing capacity stress formula of Bowles, 1988.

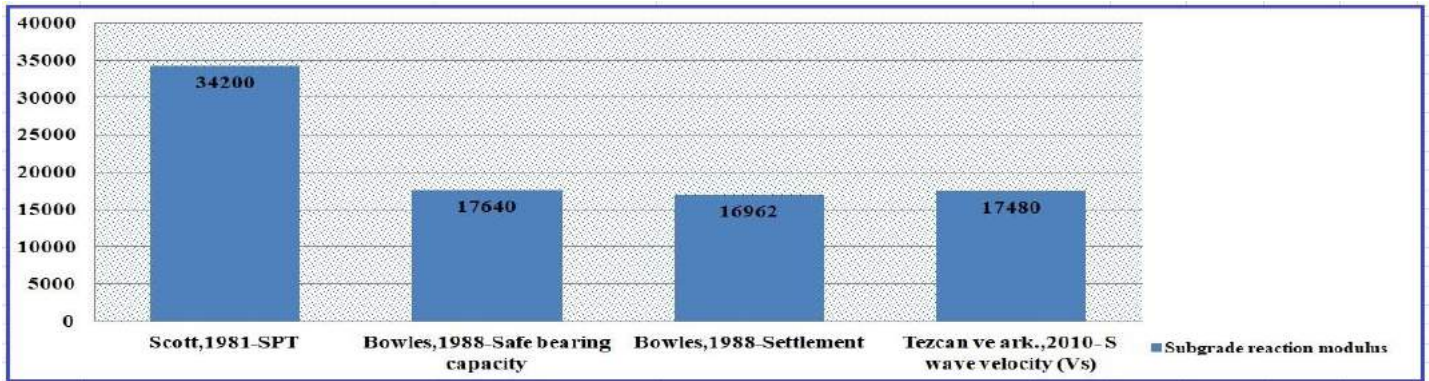


Figure 2. Subgrade reaction coefficient values calculated for Field-1

Field features-2

In the study area, foundation depth is 3, foundation width is 17 and foundation length is 24 meters. In the drillings, filling was observed between 0.5 meters, silty hard clay between 0.50-3.80 meters, and clayey, silty gravel unit between 3.80-20.00 meters. Silty sand correction was carried out for SPT values and SPTN30= 20 were achieved. Unit volume weight of the soil was found as γ : 18 kN/m³. According to seismic measurements, the first layer went up to 4.49 m of depth with medium dense clayey units and P wave velocity was calculated as $V_p = 374$ m / sec and S wave velocity as $V_s = 235$ m / sec. Then, medium dense clayey units were observed up to 11.50 m of depth and P wave velocity was calculated as $V_p = 761$ m / sec and S wave velocity as $V_s = 353$ m / sec. The seismic velocity of the first layer was taken since the foundation depth was 3 meters. The parameters used in the bearing capacity and safe bearing capacity were

found as cohesion (c) 38 kg/cm², shear strength angle (ϕ^0) 5⁰ According to Terzaghi and Pack (1967), bearing capacity was found as 628.4821 kN/m² and safe bearing capacity was found as 190.694 kN/m² (1.94 kg/cm²) when net load was 572.0821

kN/m². The average pressure increase (Δq) in the soil layer was found as 1.4 kgf/cm², the compressible soil layer thickness (H) as 10 meters, and volumetric compression coefficient (M_v) as 0.0025 cm²/kgf. The consolidation settlement calculated according to Bowles (1988) was found as 35 mm by using these values.

For this field sample, subgrade reaction coefficient values (Figure 3) were calculated as 36000 kN / m³ according to Scott, 1981; safe bearing capacity value was calculated as 22800 kN / m³ according to Bowles, 1988; soil settlement value was calculated as 16343 kN / m³ according to Bowles, 1988 and seismic S wave velocity was calculated as 16920 kN / m³ according to Tezcan et al., 2007. Scott's (1981) formula provided the highest subgrade reaction coefficient value. This value was found higher compared to other methods. It is seen that subgrade reaction coefficient values calculated in accordance with the Bowles, 1988-soil settlement and Tezcan et al., 2010-seismic S wave velocity provided similar results.

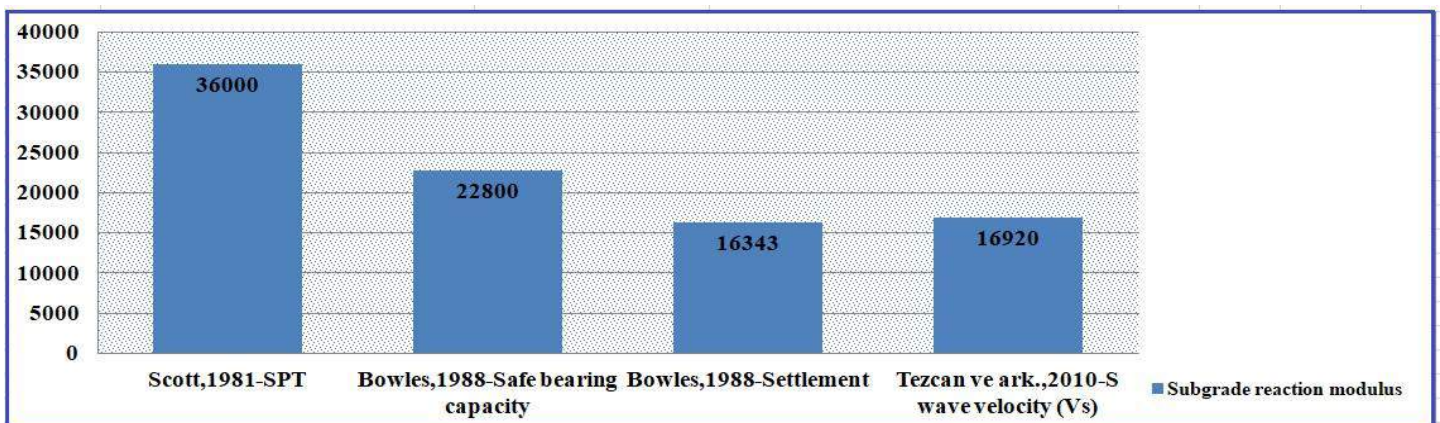


Figure 3. Subgrade reaction coefficient values calculated for Field-2

Field features-3

In the study area, foundation depth is 3, foundation width is 16 and foundation length is 19 meters. In the drillings carried out, low silty clay was observed up to 20.00 m of depth after passing the initial 0.5 meters of vegetal soil. The SPT values were found as SPTN30 = 18 due to the fact that the test was carried out under the soil water level, the soil type consisting of thin sand or silty sand and carrying out silty sand correction due to $N > 15$ blow / 30 cm value. Unit volume weight of the soil was found as γ : 19 kN/m³. According to seismic measurements, the first layer was observed up to 3.51 m of depth and its P wave velocity was calculated as $V_p = 350$ m / sec and S wave velocity as $V_s = 220$ m / sec. Then, medium dense clay units were observed up to 7.58 of depth and P wave velocity of this unit was calculated as $V_p = 915$ m / sec and S wave velocity as $V_s = 270$ m / sec. The seismic velocity of the first layer was taken since the foundation depth was 3 meters. The parameters used in the bearing capacity and safe bearing capacity were found as cohesion (c) 38 kg/cm², shear strength angle as (ϕ^0) 5°. According to Terzaghi and Pack (1967), bearing capacity was found as 558.4065 kN/m² and safe bearing capacity was found

as 167.03 kN/m² (1.50 kg/cm²) when net load was 505.1065 kN/m². The average pressure increase (Δq) in the soil layer was found as 0.4 kgf/cm², the compressible soil layer thickness (H) as 20 meters, and volumetric compression coefficient (M_v) as 0.0037 cm² / kgf. The consolidation settlement calculated according to Bowles (1988) was found as 31 mm by using these values.

For this field sample, subgrade reaction coefficient values (Figure 2) were calculated as 34200 kN / m³ according to Scott, 1981; safe bearing capacity value was calculated as 20040 kN / m³ according to Bowles (1988); soil settlement value was calculated as 16290 kN / m³ according to Bowles, 1988 and seismic S wave velocity was calculated as 16720 kN / m³ according to Tezcan et al. (2007). Scott's (1981) formula provided the highest subgrade reaction coefficient value. This value was found higher compared to other methods. It is seen that subgrade reaction coefficient values calculated in accordance with the Bowles, 1988-soil settlement and Tezcan et al., 2010-seismic S wave velocity provided similar results.

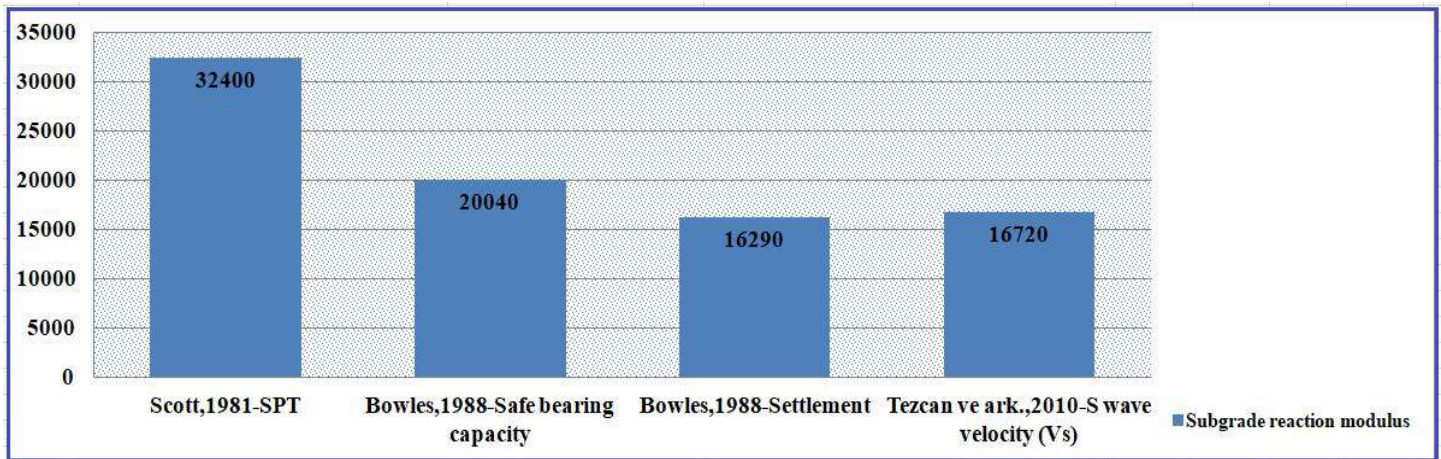


Figure 4. Subgrade reaction coefficient values calculated for Field-3

4. Conclusions

In this study, the subgrade reaction coefficient was calculated by using different methods and its results were interpreted. In three separate field investigations taken as study areas, it was observed that the subgrade reaction coefficient values and S wave velocity obtained from the calculations made according to the safe bearing capacity value and settlement were compatible. Furthermore, it was observed that the subgrade reaction coefficient values obtained with the blow counts of Standard Penetration Tests provided higher and different results than the others. Standard Penetration Test (SPT) can yield misleading results when standard and qualified equipment is not used and when it is applied by personnel with insufficient experience. The same impact and power may not be applied to the soil every time during the application phase. Therefore, this results in misleading and unreliable blow counts. S wave velocity obtained from seismic methods provides information about the resistance, strength and rigidity of the units on the soil.

Therefore, the formulas calculated using S wave velocity is important. In calculations of the subgrade reaction coefficient using the S wave velocity, it was observed that the results were similar to other methods. Subgrade reaction coefficient depends on soil settlement and elastic modulus and therefore on parameters such as Poisson ratio, soil type, unit volume weight values, seismic velocities, safe bearing capacity value. Therefore, calculating the subgrade reaction coefficient, especially in structures with a settlement problem, by considering all of these parameters will give more reliable results.

References

Biot, M. A. (1937). Bending of infinite beams on an elastic foundation. *Journal of Applied Physics*, 12, 155-164.
 Bowles J. E. (1982). *Foundation analysis and design* (3rd ed.). McGraw-Hill Book Company, New York.

- Bowles, J. E. (1988). *Foundation analysis and design* (4th ed.). McGraw Hill Book Company, New York.
- Bowles, J. E. (1996). *Foundation analysis and design* (5th ed.). McGraw-Hill Book Company, New York.
- Coduto, D. P. (2000). *Foundation design: principles and practices* (2nd ed.). Prentice Hall, Inc., New Jersey.
- Kahraman, S., Mısr, İ. S. & Özden, G. (2007). *Effect of constant and variable subgrade reaction coefficient approaches to building behavior* [Conference presentation]. 6th National Earthquake Conference, İstanbul.
- Kanıt, R. (2003). *Foundation construction*. Gazi Bookstore, Ankara.
- Keçeli, A. (2010). Determination of soil bearing capacity and settlement with seismic method. *Applied Geology*, 9(1), 23-41.
- Moayed, R. Z. & Janbaz, M. (2008). Foundation size effect on modulus of subgrade reaction in clayey soil. *Ejge*, 13, 1-8.
- Othman, A. A. (2005). Construed geotechnical characteristics of foundation beds by seismic measurements. *Journal of Geophysics and Engineering*, 2(2), 126–138.
- Scott, R. F. (1981). *Foundation analysis*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Terzaghi, K. (1955). Evaluation of coefficients of subgrade reaction. *Géotechnique*, 5(4), 297-326.
- Terzaghi, K. & Peck, R. B. (1967). *Soil mechanics in engineering practice* (2nd ed.). Wiley, New York.
- Tezcan, S. S., Keçeli A. & Özdemir, Z. (2010). Determination of safe bearing capacity in soil and rocks with seismic method. *Tübv Science Journal*, 3(1), 1-10.
- Uzuner, B. A. (2000). *Introduction to foundation engineering*. Derya Kitabevi, Trabzon.
- Vesić, A. S. (1961). Beams on elastic subgrade and the Winkler's hypothesis. *Proceedings of the 5th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 1, 845-850.
- Winkler, E. (1867). *Die lehre von elastizität and festigkeit (on elasticity and fixity)*. Prag, 182.



%100 Yenilenebilir Enerjiye Geçiş Yolunda Dünya ve Türkiye

Nazlıcan Karabağ¹, Cemre Belit Çobanoğlu Kayıkcı², Atakan Öngen^{3*}

¹ İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6276-3597), nzcnkrbg@gmail.com

² İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2068-4791), ccobanoglu@ogr.iu.edu.tr

^{3*} İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9043-7382), aongen@istanbul.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 14 Ağustos 2020 ve Kabul Tarihi 16 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.780856)

ATIF/REFERENCE: Karabağ, N., Çobanoğlu Kayıkcı, C. B. & Öngen, A. (2021). %100 Yenilenebilir Enerjiye Geçiş Yolunda Dünya ve Türkiye. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 230-240.

Öz

Çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarının günümüzdeki ve gelecekteki durumu ulusal ve uluslararası yenilenebilir enerji kurumlarının geniş veri tabanları ışığında derlenerek, %100 yenilenebilir enerjiye geçişte dünyanın ve ülkemizin son durumu irdelenmiş, %100 yenilenebilir enerjiye geçiş hedefine ne ölçüde yaklaşıldığı belirlenerek tüm bu bilgilerden hareketle geleceği hakkında öngörülerde bulunulmuştur. Enerji ve çevre problemlerinin gündemde olduğu günümüzde, yaşanan problemlere yönelik öncelikli çözüm ülkelerin yenilenebilir enerjiye geçişi ile mümkündür. %100 Yenilenebilir Enerjiye Geçiş olarak adlandırılan bu hedef hem ihtiyaç duyulan enerjinin sağlanması hem de temiz enerji üretilmesi gibi avantajları beraberinde getirmektedir. Günümüzde, yenilenebilir enerji kaynakları küresel enerji kapasitesinin üçte birinden fazlasını oluşturmaktadır ve Dünya %100 yenilenebilir enerjiye geçiş yolunda hızla ilerlemektedir. 2018 yılında 2017'ye kıyasla, toplam 181 gigawatt (GW) yenilenebilir enerji artışı olmuş ve yenilenebilir enerji paylarını büyüten ülke sayısı artmıştır. Türkiye'nin enerji üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının geçmişten günümüze durumu incelendiğinde 2008 yılında %20 olan pay 2018'de %32 seviyelerine yükselmiştir. Fosil yakıt kaynaklı elektrik enerjisi üretimi ise 2008'de %82'lik bir paya sahipken 2018'de %68 seviyelerine gerilemiştir. Fosil yakıt kullanımında dışarı bağımlılık ve çevresel problemler de düşünülecek olursa bu gelişme gelecek için umut verici seviyelerdedir.

Anahtar Kelimeler: %100 Yenilenebilir Enerji, Alternatif Enerji Kaynakları, Fosil Yakıt.

100% Renewable Energy Transition Towards the World and Turkey

Abstract

In the study, the current and future status of renewable energy sources are reviewed in the light of large databases of national and international renewable energy institutions. The latest situation of the world and our country was examined for the 100% renewable energy transition, and what extent approaches to the goal of 100% renewable energy transition has been determined. There have been predictions about its future based on all this information. Today, energy and environmental problems are on the agenda, the solution of priority to encountered problems is possible with the 100% renewable energy transition of countries. This goal, which is called 100% Renewable Energy Transition, brings the advantages such as providing the energy requirements, and producing clean energy. Nowadays, renewable energy sources account for over a third of global energy capacity, and the Earth is rapidly moving towards 100% renewable energy transition. Compared to 2017, there was a total increase of 181 gigawatts (GW) renewable energy, and the number of countries that increased their share of renewable energy has increased in 2018. When the situation of Turkey's energy production by renewable energy sources is analyzed from the past to the present, its share increased from 20% to 32% from 2008 to 2018. On the other hand, electricity energy production from fossil fuels had a sharp decrease from 82% to 68% in 2018. Considering external dependence in fossil fuels, and environmental problems, this development is at a promising level for the future.

Keywords: 100% Renewable Energy, Alternative Energy Sources, Fossil Fuel.

* Sorumlu Yazar: İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0002-9043-7382, aongen@istanbul.edu.tr

Kısaltmalar

GW: Gigawatt

GWh: Gigawatt-saat

MW: Megawatt

PJ: Petajoule

TEİAŞ: Türkiye Elektrik İletim A.Ş.

TWh: Terawatt-saat

UEA: Uluslararası Enerji Ajansı

1. Giriş

Günümüzde enerji, dünyanın ve insanlığın en hayati ihtiyaçlarından biri haline gelmiştir. Artan talepler ve bu talepleri karşılamak için geliştirilen üretim süreçleri sebebiyle enerjiye ve enerji kullanımına olan ihtiyaç da artmaktadır. Enerji konusunda kalıcı çözümlerin bulunması için enerji problemlerinin doğru tanımlanması, uygulanabilecek çözümlerin bulunması, eski ve mevcut en iyi enerji teknolojileri arasında ayrım yapılması ve faydadan çok zarar veren eski teknolojilerin kullanılmaması gerekmektedir (Uyar ve Beşikçi, 2017; Ploetz ve diğ., 2016). Enerji piyasasına ve enerji ihtiyacına bakıldığında fosil yakıtlar baskı altındadır ve bu durum henüz olgunlaşmaya yeni başlamış olan yenilenebilir enerji piyasasını avantajlı kılmaktadır. Yenilenebilir enerji; sürekli olarak devam eden doğal süreçlerdeki var olan enerji akışından elde edilen enerjidir ve güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji, hidro enerji, okyanus enerjisi, biyokütle enerjisi ve hidrojen enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları olarak sıralanabilir (URL1).

Küresel iklim değişikliği ve çevre problemlerine sebep olmasıyla fosil yakıtlar kritik bir problem oluşturmaktadır. Fosil yakıtlar, sonsuz kaynaklar değildir ve tükenme tehlikesiyle karşı karşıyadır. Fosil yakıtların enerji üretiminde kullanılmasıyla oluşan sera gazları sebebiyle hem iklim değişimi hem de ekolojik denge bozulmaları gözlenmektedir. Fosil yakıt kaynaklarının sınırlandırılıyor olması, enerjinin kullanılabilirliğinin garanti edilmesi için enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesini gerektirmektedir. Yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesinin geleceğin enerji ihtiyaçlarının karşılanmasında doğru bir adım olacağı ön görülmektedir (Ploetz ve diğ., 2016).

Teknolojik gelişmeler, sanayileşme ve yaşam standartlarının yükselmesiyle birlikte Dünya'daki siyasi sürecin şekillenmesinde ülkelerin enerji kaynakları, bu enerji kaynaklarını nasıl kullandıkları, kullanım verimleri ve değerlendirme, denetleme ve geliştirebilme şekilleri de etkili olmaktadır. Ülkelerin enerji bağımsızlıkları siyasi olarak belirleyicilik katmaktadır. Tüm bu sebepler nedeniyle geleceğe yönelik oluşturulan üretim planlamalarında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılmasına yönelik çalışmalar da hız kazanmaktadır (Sadiqa ve diğ., 2018; Kılıçkaplan ve diğ., 2017; Hansen ve diğ., 2019).

Ülkemizde de artan enerji talebini karşılamak, enerji kaynaklarında dışa bağımlılığı azaltmak ve çevre dostu bir üretim yapabilmek için yenilenebilir enerji kaynaklarından en üst seviyede faydalanmak büyük önem taşımaktadır. Ülkemizde çeşitli yenilenebilir enerji kaynaklarının ekonomiye katma değer sağlayabilecek ölçüde değerlendirilebilir potansiyeli bulunmaktadır. Sahip olunan potansiyelin tam anlamıyla kullanılmıyor olması gerek ülke ekonomisini baskı altına almakta gerekse başta hava kirliliği ve iklim değişikliği olmak üzere ekosistem üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır.

Global ölçekte de yaşanan benzer problemlerin iyileştirilmesine yönelik en güncel ve etkili çözüm önerisi ise “%100 Yenilebilir Enerjiye Geçiş” yaklaşımı olarak kabul edilmektedir. Yenilenebilir enerji, istenen kalitede enerji üretiminin gerçekleştirilmesine ve dönüştürülmesine uygun olan yüksek entropi kaynaklarını içermektedir (Uyar ve Beşikçi, 2017). %100 Yenilenebilir enerjiye geçişin faydaları şöyle sıralanabilir:

- Yakıt zenginliği,
- Enerji fiyatlarında olası düşüş,
- Enerjide dışa bağımlılığın azaltılması,
- Güvenli ve temiz bir enerji üretimi,
- Hava, su ve çevre kirliliğinin iyileştirilmesi, halk sağlığının korunması
- Yerel ekonominin düzenlenmesi (URL2; Ploetz ve diğ., 2016).

Elbette yenilenebilir enerji kaynaklarının temiz enerji olması ve sonsuz olması gibi avantajlarının yanında dikkate alınması gereken dezavantajları da vardır. Bunlar sınırlı potansiyel, yüksek maliyet ve enerji yoğunlukları ile ilgilidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji üretiminde kullanılması için yapılacak projelerin ilk yatırım maliyetlerinin çok yüksek olması ve enerji depolama sorunlarının varlığı yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında dezavantaj yaratmaktadır (Ploetz ve diğ., 2016).

Yenilenebilir enerji kaynakları şu anda küresel enerji kapasitesinin üçte birinden fazlasını oluşturmaktadır. 2018'de doksandan fazla ülkede 1 GW'dan fazla yenilenebilir güç kapasitesi kurulmuştur. Son yıllarda enerjinin %100'ünü yenilenebilir kaynaklardan karşılama yönünde artan bir hareket şehirlerde ve ülkelerde görülmektedir. Norveç, Kosta Rika, Çin, Almanya ve İsveç gibi ülkeler yerel enerji sektörlerinin hedeflerini “%100 yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş” olarak belirlemişlerdir (URL3; Child ve diğ., 2019).

Yenilenebilir Enerjiler 2019 Küresel Durum Raporu'na göre 2018 yılı, yenilenebilir enerji teknolojileri için nispeten istikrarlı bir piyasa yaşamıştır, 2017'ye kıyasla, toplam 181 gigawatt (GW) yenilenebilir enerji artışı olmuş ve yenilenebilir enerji paylarını büyüten ülke sayısı artmaya devam etmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları, yıl sonuna kadar küresel elektrik üretiminin tahminen %26'sından fazlasını sağlamıştır ancak yenilenebilir enerji seçenekleri, ısıtma ve ulaşım için gerekli olan enerjinin sadece %10'unu ve %3'ünü sağlamaktadır. Enerji, ısıtma, soğutma ve ulaşım sektörleri arasındaki entegrasyonu geliştirmek için, yenilenebilir teknolojilerin ve fırsatların artırılması, tamamen yenilenebilir enerjiye dayalı bir dünyaya geçişi sağlayacaktır (Murdock ve diğ., 2019).

Türkiye'nin enerji üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanması ise geçmişten günümüze artmaktadır.

Son 10 yıllık gelişime bakıldığında 2008 yılında yenilenebilir üretimin payı %19,58 iken 2018'de bu pay %32,08 olmuştur. Fosil yakıt kaynaklı enerji üretimine bakıldığında ise 2008'de %82,06'lık bir paya sahipken 2018'de bu pay %67,60'a düşmüştür. Bu bilgiler de Türkiye'de %100 yenilenebilir enerjiye geçişte önemli aşamalar kaydedildiğini göstermektedir (URL4).

2013 yılında ivme kazanmaya başlayan %100 yenilenebilir enerjiye geçiş yatırımları, 2015 yılının sonuna doğru istikrarlı bir şekilde artmış ve 290 milyar dolara ulaşmıştır. Atmosfere salınan karbon dioksit emisyonlarının azalması ve daha sağlıklı bir ortam oluşması sebebiyle %100 yenilenebilir enerjiye geçiş, tüm insanlığa sürdürülebilir bir yapı içinde sağlıklı bir yaşam sunmanın tek yolu olarak görülmektedir. Mevcut yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanılmasıyla 2050 yılına kadar %100 yenilenebilir enerjiye geçmiş bir Dünya olabilmek için, tüm yenilenebilir enerji kaynaklarının bir arada kullanılması ve depolama teknolojilerinin geliştirilmesi gerekmektedir (Uyar ve Beşikci, 2017).

Ülkelerin enerji ihtiyacını karşılarken kullandıkları doğal kaynakların çıkarılması ve kullanılması için uygulanan teknolojilere bağlı olarak gerek ulusal ekonomilerin gerekse çevresel kaynakların üzerindeki olumsuz etkilerinden dolayı yaşanan global baskılar %100 yenilenebilir enerjiye geçiş politikalarının uygulanmasını kaçınılmaz kılmaktadır. Bu bağlamda, çalışmada uluslararası kabul görmüş, güncel istatistiki bilgilerin kaydının tutulduğu uluslararası kurumların kaynakları ve akademik makaleler derlenerek okuyucuların konuyla ilgili en güncel bilgilere bir bütün halinde erişmeleri hedeflenmiştir. Bu bağlamda elde edilen veriler ışığında, ülkemiz için %100 yenilenebilir enerjiye geçiş hedefi doğrultusunda ülkenin sosyoekonomik yapısına uygun bir yol haritasının ortaya konması amaçlanmıştır.

2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Bu bölümde yenilenebilir enerji kaynaklarının uluslararası ölçekte güncel durumu hakkında kısaca bilgiler verilmiştir.

2.1. Biyokütle

Biyokütle, fosil yakıt kaynaklarının yerini alacağı düşünülen önemli bir yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynağıdır. Odun, tarımsal ürünler, tarımsal yan ürünlerin atıkları, hayvan atıkları, belediye katı atıkları, atıksu arıtma tesislerinden çıkan arıtma çamurları, gıda işlemeden kaynaklanan atıklar, su bitkileri ve algler biyokütlenin en önemli kaynaklarıdır. Son istatistiklere göre, Türkiye'de 2018 yılında üretilen belediye atık miktarı yaklaşık 32.2 tondur (Kanat ve Ergüven, 2020). Biyokütle ve biyoenerjinin ısı ve güç üretimi, kimyasal ve yakıt üretiminde küresel enerji senaryosunun geleceğinde hayati bir rol oynayacağı ön görülmektedir. Son yıllarda biyoenerji, fosil yakıt kaynaklarının azalması ve çevresel kaygıların artmasıyla birlikte özel ilgi görmektedir. Biyoenerji, gelişmekte olan ülkelerde yoksulluğun azaltılmasına katkıda bulunmaktadır. Biyoenerji, karmaşık enerji dönüştürme ve pahalı süreçler olmadan her zaman gerekli enerjiyi sağlaması ve çevre dostu olması gibi avantajlarıyla, enerji gereksinimlerini karşılayan ve gelecekte de enerji taleplerini karşılayabilecek en iyi alternatif yakıt olarak düşünülmektedir. 2050 yılına kadar, dünyanın birincil enerjisinin %25'inden fazlasının biyokütleden elde edileceği öngörülmektedir (Hosseini ve Wahid, 2016; Avcioğlu ve Dayıoğlu, 2019).

Biyoenerji, küresel yenilenebilir enerji arzına en önemli katkısı yapan enerji kaynakları arasındadır. 2017 sonu itibarıyla nihai global enerji tüketimine tahmini %12,4 katkıda bulunduğu raporlanmıştır. Küresel ısıtma arzının %5'i, ulaşımın %3'ü, elektrik arzının ise %2'si biyoenerjiden sağlanmıştır. 2018 yılı verilerine göre Çin bu alanda dünya lideri olurken ABD, Brezilya, Hindistan ve Almanya ise Çin'i takip eden ülkeler arasında yer almışlardır (Renewables 2019, Global Status Report).

2.2. Jeotermal Enerji

Yerkürenin iç ısısı olan jeotermal enerji, bu iç ısının merkezdeki sıcak bölgeden yeryüzüne doğru yayılması prensibine dayanır ve elektrik enerjisi üretiminde, ısıtmada, tarım, seracılık, balıkçılık gibi birçok alanda kullanılır. Dünya jeotermal enerji kurulu gücü; elektrik ve ısı üretim gücü olmak üzere iki şekilde ifade edilmektedir. 2018'deki toplam jeotermal enerji üretiminin 630 PJ olduğu tahmin edilmektedir, bunun yaklaşık yarısı elektrik amaçlı (89,3 TWh) kullanılmaktadır. 2018 yılında 0.5 GW'lık yeni bir jeotermal enerji kapasitesi oluşmuş ve küresel toplam 13,3 GW olmuştur (Kaygusuz, 2019).

Türkiye ve Endonezya 2018 yılı itibarıyla jeotermal enerji kapasitesini faydalı kullanıma çevirme oranı açısından sıralamanın ilk iki basamağını oluşturan ülkelerdir. Bu iki ülkeyi ABD, İzlanda, Yeni Zelanda, Hırvatistan, Filipinler ve Kenya takip etmektedir. Türkiye 2018 yılında tamamladığı jeotermal enerji projeleriyle kurulu kapasitesini %21(219 MW) arttırıp 1.3 GW'a yükseltmiştir. Endonezya jeotermal kapasitesini 140 MW arttırmış ve kurulu kapasitesini 1,95 GW'a yükseltmiştir (Kaygusuz,2019; Renewables 2019, Global Status Report). Kaynak rezervi açısından ise ABD, Endonezya, Filipinler, Türkiye, Yeni Zelanda, Meksika, İtalya, İzlanda, Kenya ve Japonya şeklinde sıralanmaktadır.

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü 2019 verilerine göre Türkiye'nin jeotermal enerji haritası incelendiğinde, Türkiye'nin özellikle Ege bölgesinde yoğun bir jeotermal enerji potansiyeli olduğu görülmektedir. Ülkemiz jeolojik ve coğrafik konumu itibarıyla aktif bir tektonik kuşak üzerindedir ve jeotermal açıdan zengin bir durumdadır. Ülkemizin her tarafında dağılmış değişik sıcaklıklarda yaklaşık 1.000 adet doğal çıkış şeklinde jeotermal kaynak bulunmaktadır. Ülkemizde yüksek jeotermal enerji potansiyeli oluşturan alanların %78'i Batı Anadolu'da, %9'u İç Anadolu'da, %7'si Marmara Bölgesi'nde, %5'i Doğu Anadolu'da ve %1'i diğer bölgelerde yer almaktadır. Türkiye'deki jeotermal kaynakların %90'ı düşük ve orta sıcaklıkta olup doğrudan uygulamalar (ısıtma, termal turizm, çeşitli endüstriyel uygulamalar vb.) için, %10' u ise dolaylı uygulamalar (elektrik enerjisi üretimi) için uygun durumdadır (URL5).

2.3. Hidroenerji

Hidroelektrik, elektrik talebindeki artış, türbin verimliliğindeki artış gibi faktörlerin etkisiyle elektrik üretiminde rolünü büyük ölçüde genişletmiş, bilhassa Asya, Latin Amerika ve Afrika'daki gelişmekte olan pazarlarda rağbet görmüş yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. 2018 yılında küresel hidroelektrik pazarında toplam kurulu güç 20 GW artmış ve 1132 GW'a ulaşmıştır. Toplam hidroelektrik kapasitesinde ilk 10 ülke (sırasıyla) Çin, Brezilya, Kanada, Amerika Birleşik Devletleri, Rusya Federasyonu, Hindistan, Norveç, Türkiye, Japonya ve Fransa yer almaktadır ve bu ülkeler küresel

kapasitenin üçte ikisini temsil etmektedir (Pandey ve Karki, 2016; Renewables 2019, Global Status Report).

2.4. Okyanus Enerjisi

Geniş ve güçlü okyanuslar dünya genelinde toplam enerji talebini birçok kez karşılayacak ısı, akım, dalga ve gelgit şeklinde yeterli enerji depolamaktadırlar. Ancak, buna rağmen günümüzde okyanus enerjisi dünya çapında enerji arzının sadece küçük bir bölümünü oluşturmaktadır. Şimdi ise küresel iklim değişikliği ve dünya çapında fosil yakıtlara bağımlılığın diğer çevresel etkilerinin yarattığı endişeler, yenilenebilir enerjiye ve okyanus enerjisine olan ilgiyi arttırmıştır. Gelecekte yenilenebilir enerjilere olan küresel bağlılık arttıkça, okyanustaki büyük enerji depolarına daha fazla ilgi artacaktır. Okyanus enerjisi, yenilenebilir enerji pazarının en küçük bölümünü temsil eden yenilenebilir enerji kaynağıdır. Bu enerji türüyle yapılan projelerin çoğu da küçük ölçekli ve pilot projeler olmaktadır ve 2018'de 532 MW işletme kapasitesi olduğu hesaplanmıştır. Okyanus enerjisinin kaynak potansiyeli yüksek olmasına rağmen, maalesef kullanımı yaygın değildir. Özellikle Avrupa ve Kuzey Amerika'daki hükümetlerin okyanus gücü teknolojilerini desteklemesi, okyanus enerjisi ile elektrik üretimini güçlendirmeye başlamıştır (Renewables 2019, Global Status Report; Wilberforce ve diğ., 2019).

2.5. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, birincil enerji kaynağı olarak kabul edilen ve ısıtma, mimari, kentsel planlama, tarım, bahçecilik, ulaştırma ve yakıt üretimi uygulamalarında yaygın olarak uygulanan bir enerji kaynağıdır. Gelişmekte olan pazarlarda ve Avrupa'da güneş enerjisine olan talep giderek artmaktadır. Güneş enerjisi 2018 yılında en yüksek elektrik üretimi değerlerini görmüş, küresel anlamda en çok rağbet gören yenilenebilir enerji türlerinden biri olmuştur. Güneş enerjisinde yıllık küresel pazara 100 GW'ı aşkın kapasite eklenmiş ve yıl sonunda toplam kapasite 505,5 GW olmuştur. Özellikle Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa'da önemli ölçüde güneş enerjisi kapasitesi artmıştır. Ayrıca dünyanın dört bir yanında madencilik, imalat ve diğer endüstriler faaliyetlerini yürütmek için güneş enerjisi tesisleri kurmaktadır. 2018 yılı sonuna kadar en az 32 ülkede güneş enerjisi kapasitesi 1 GW ve üstünde artmıştır. Güneş enerjisinde Çin, küresel kapasitenin yaklaşık %74'ünü oluştururken, bunu Türkiye, Brezilya ve ABD izlemektedir (Renewables 2019, Global Status Report; Shamshirband ve diğ., 2019).

2.6. Rüzgar Enerjisi

Rüzgar enerjisi, küresel pazarı oldukça istikrarlı bir şekilde gelişen ve 2018'de yaklaşık kapasitesini 51 GW arttıran yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Rüzgar enerjisi kapasitesi 2018 yılında %9 artarak 591 GW'a yükselmiştir. 2017'de Avrupa ve Hindistan'da rüzgar enerjisi kapasitesinde rekor yaşanmıştır ancak bu durum 2018 yılında aynı istikrarı gösterememiştir, buna karşılık diğer bölgelerde ve ülkelerde dikkate değer bir büyüme yaşanmıştır. En büyük bölgesel pazar ise %52 ile Asya olmuştur. Avrupa'daki yedi, Asya'daki iki ülke kapasitesini 4,5 GW arttırmış ve küresel kapasiteyi %24 artırarak 23,1 GW'a ulaşmıştır (Renewables 2019, Global Status Report; Shamshirband ve diğ., 2019).

2.7. Hidrojen Enerjisi

Bugünün artan yatırımları ve daha ucuz yenilenebilir enerji arzı, hidrojen üretim maliyetlerini etkileyecek ve fosil yakıtlardan ucuz yenilenebilir enerjiye yönelimi artıracaktır. Bu gerçek, hidrojen enerjisi teknolojilerinin %100 yenilenebilir enerji hedefine ulaşmada önemli bir rol oynayacağını doğrulamaktadır (Uyar ve Beşikçi, 2017; Abe ve diğ., 2019).

Hidrojen, yaklaşık sıfır emisyon üretmesi ve doğada bol bulunan kaynakları ideal bir sürdürülebilir enerji kaynağı olabilir. Hidrojenin tersine, fosil yakıt kaynakları, hava kirliliği ve küresel ısınma gibi ciddi çevre sorunlarına yol açmaktadır. Fosil yakıt kullanımının çevre, insan sağlığı ve iklim üzerindeki olumsuz etkilerini gidermek için temiz ve zengin kaynaklardan çevreye zararsız metotlarla hidrojen üretilmelidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen hidrojen enerjisi, kalıcı bir enerji sisteminin önünü açacaktır (Karabağ, 2018; Veziroğlu ve Şahin, 2019).

Hidrojen enerjisinin yaygınlaşabilmesi için dünyada birçok proje üretilmekte ve çeşitli pilot tesisler kurulmaktadır. Türkiye'de hidrojenle çalışan otobüs ve Bozcaada'da yer alan rüzgardan hidrojen üretimi projeleri pilot tesis çalışmaları arasındadır. Bunun dışında Dünya'da da birçok pilot ölçekli proje örnekleri bulunmaktadır. Örneğin; Çin'de hidrojen üretimi için kurulan küçük hidroelektrik santraller, Arjantin'de bulunan hidrojen üreten rüzgar türbinleri, Güney Kore ve Hindistan'daki hidrojen yakıtlı taşıtlar bu çalışmalar örneklerdir. Bununla birlikte, Libya'da güneş panelleriyle hidrojen üretiminin sağlanması planlanmakta, Portekiz, Kolombiya, Mısır, Rusya ve İtalya gibi ülkelerde de hidrojen kullanımı yaygın hale gelmektedir (Mutlubaş ve Özdemir, 2019).

3. %100Yenilenebilir Enerji

Fosil yakıtlar kaynakları arzın artması, çevre kirliliği ve iklim değişikliği sorunları ile karşı karşıyadır, yenilenebilir enerji ise enerji konusunda en iyi beklentileri sunabilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları fosil yakıtlardan birçok önemli açıdan farklı olmaktadır.

%100 yenilenebilir enerjiye geçiş kavramı, enerjinin kullanıldığı tüm alanlarda bilhassa elektrik üretimi, ulaşım ve ısıtma/soğutmada tamamen yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması anlamını taşımaktadır. Bu hedefin başarılması sürdürülemez olan enerji talebinin azaltılmasına, enerji verimliliğinin artırılmasına, çok daha ucuz ve çok daha temiz enerji üretilmesine olanak sağlayacaktır.

Bu bölümde hem Dünya'da hem de Türkiye'de %100 yenilenebilir geçmişte geçmişten bugüne kat edilen yol hakkında bilgi verilmiş, küresel ve yerel anlamda %100 yenilenebilir enerjiye geçişi hızlandırmak için yapılanlar konusunda açıklamalar yapılmıştır.

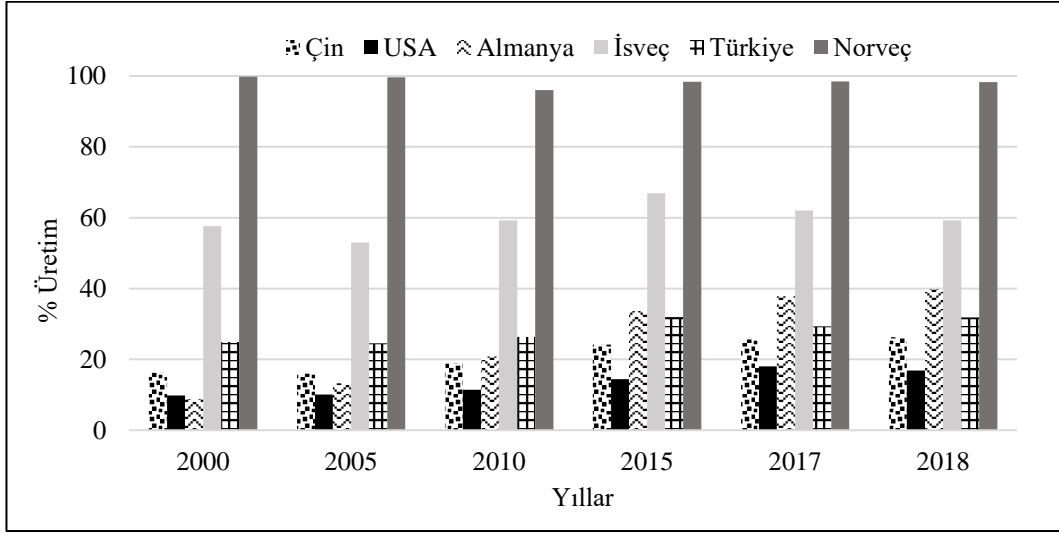
3.1. Dünyada %100 Yenilenebilir Enerjiye Geçiş

Isıtma, soğutma ve ulaşımında çok daha az büyüme yaşanırken, yenilenebilir enerji sektöründeki ilerleme, elektrik üretimi alanında yoğunlaşmaya devam etmektedir. Elektrik, küresel enerji tüketiminin sadece beşte birini oluşturmaktadır, ulaşım ve ısıtma sektörlerindeki yenilenebilir enerjilerin rolü enerji geçişi için kritik önemini halen korumaktadır. Küresel olarak bakıldığında 2018 yılı %100 yenilenebilir enerjiye geçişte istikrarlı bir profil çizmiştir. 2017'ye göre 181 GW yenilenebilir

enerji eklenmiş ve %100 yenilenebilir enerjiye geçişte yol kat eden ülke sayısı artmıştır. Yenilenebilir enerji sektörü genel olarak 2018'de dünya genelinde 11 milyon civarında (doğrudan ve dolaylı) istihdam sağlamıştır. %100 yenilenebilir enerjiye geçişte enerji verimliliğinde ve geçişte ilerleme kat edilmesine rağmen küresel anlamda Dünya Sürdürülebilir Kalkınma hedeflerinin ve Paris Anlaşması'nın gerisindedir. Küresel enerji kaynaklı karbondioksit (CO₂) emisyonları, fosil yakıt

tüketimindeki artış nedeniyle 2018'de %1,7 oranında artmıştır. Fosil yakıt kullanımı 2017'den bu yana %11 artmıştır. Fosil yakıt şirketleri, iklim değişikliği politikalarını geciktirmek, kontrol etmek veya engelleyip, kamuoyunu etkilemek için reklamlara yüzlerce milyon dolar harcamaya devam etmektedir.

Şekil 1'de %100 yenilenebilir enerjiye geçişte diğer ülkelere göre bir adım önde olan ülkelerle Türkiye'nin yenilenebilir enerji üretimleri karşılaştırılmıştır.

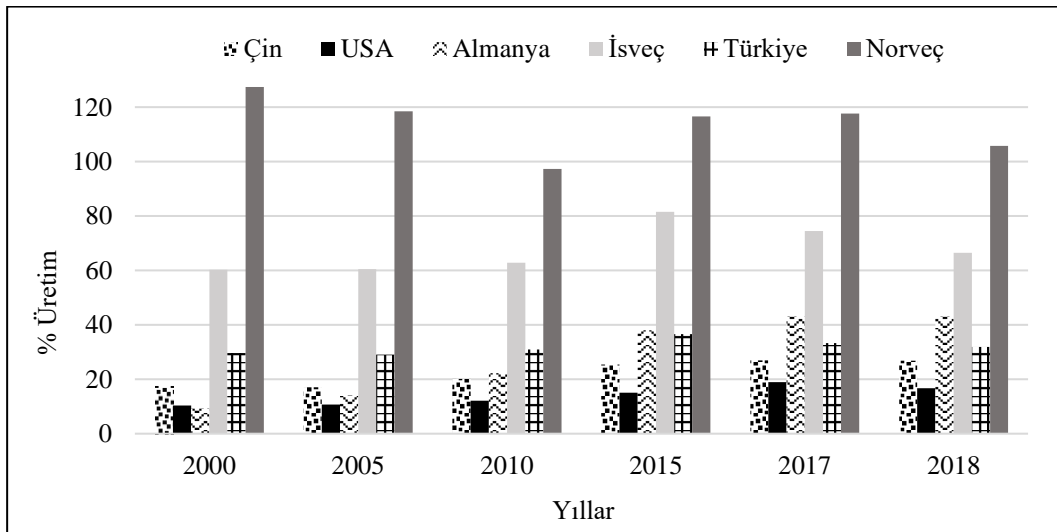


Şekil 1: Ülkelerin Yenilenebilir Elektrik Enerjisi Üretimi (%) (UEA,2019; URL6).

%100 yenilenebilir enerjiye geçişte diğer ülkelere göre bir adım önde olan Çin, Amerika Birleşik Devletleri, Almanya, İsveç ve Norveç'in yenilenebilir enerji üretimlerinin Türkiye ile karşılaştırıldığı Şekil 1 incelendiğinde, Norveç'in %100 yenilenebilir enerjiye geçiş yaptığı, elektrik enerjisinin tamamını yenilenebilir enerjiden karşıladığı görülmektedir. %100 yenilenebilir enerjiye geçişe en yakın olan İsveç ise ikinci sırada Norveç'i takip etmektedir. Çin, ABD ve Almanya da giderek

artan yenilenebilir enerji profilleriyle %100 yenilenebilir enerjiye geçişte yol kat eden ülkelerdir. Türkiye'ye bakıldığında ise 2000 yılından bu yana %100 yenilenebilir enerjiye geçişte yenilenebilir elektrik enerjisi üretiminde Çin, ABD ve Almanya'nın ilerisindedir.

Şekil 2'de ülkelerin yenilenebilir üretiminin toplam tüketim içerisindeki payı verilmiş, toplam tüketim içerisindeki yenilenebilir üretimin ne durumda olduğu hakkında bilgi verilmiştir.



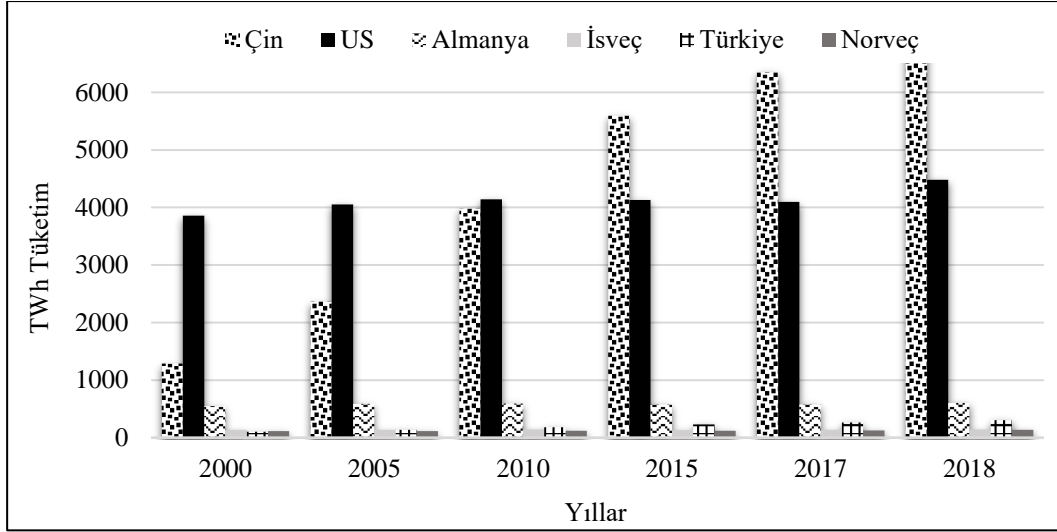
Şekil 2: Ülkelerin Yenilenebilir Üretiminin Toplam Tüketim İçerisindeki Payı (UEA,2019; URL7).

Şekil 2'deki veriler istatistiksel olarak analiz edildiğinde, toplam tüketim içerisindeki yenilenebilir üretimin payının en yüksek olduğu ülke Norveç'tir, hatta grafik incelendiğinde

Norveç'te tüketimden daha fazla yenilenebilir üretimin olması sebebiyle %120'ye yaklaşan hatta %120'yi bile aşan üretim payları görülmektedir. Norveç'i ikinci sırada İsveç takip

etmektedir. Türkiye'nin toplam tüketim içerisindeki yenilenebilir payı ise Almanya'dan düşüktür. Çin ve ABD'de ise yenilenebilir

üretim payının düşük olduğu görülmektedir. Şekil 3'te ise ülkelerin yıllara göre elektrik enerjisi tüketimleri verilmiştir.



Şekil 3: Ülkelerin Elektrik Enerjisi Tüketimleri (TWh) (UEA, 2019; URL7).

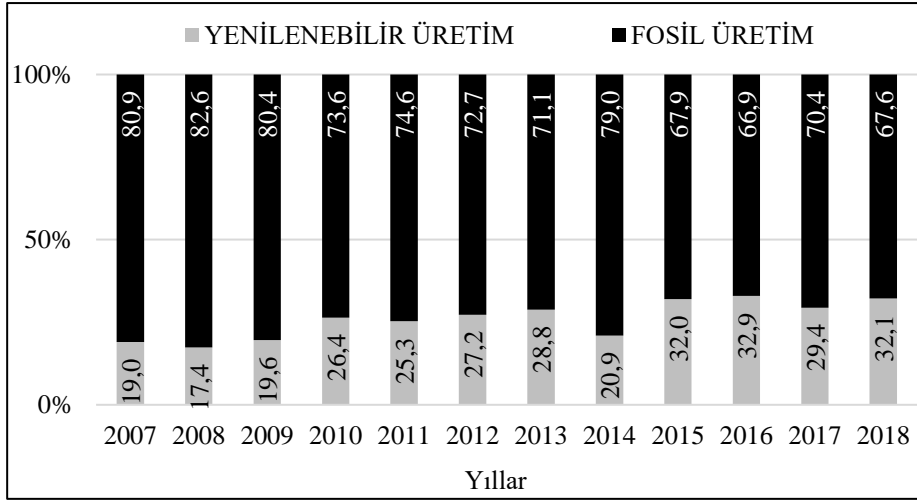
Şekil 3 incelendiğinde, yenilenebilir üretim payının düşük olduğu Çin'de toplam elektrik enerjisi tüketimi 2018 yılında 6500 TWh'dır, bunun sadece yaklaşık çeyreği yenilenebilir enerji üretiminden karşılanabilmektedir. Bu durum ABD için de geçerlidir, 2018 yılında 4500 TWh elektrik enerjisi tüketimine rağmen bu enerjinin sadece yaklaşık %18'i yenilenebilir üretimden karşılanmaktadır. Bu bilgiler ışığında enerji tüketiminin fazla olmasına rağmen İsveç dışında birçok ülkenin bu tüketim payı içerisindeki yenilenebilir üretim payının düşük olduğu ve tüketilen enerjinin yenilenebilir üretimle karşılanamayacağı, karşılanması için daha kat edilmesi gereken çok yol olduğu görülmektedir.

%100 yenilenebilir enerjiye geçişi hedefleyen ülkelerin bu hedefi gerçekleştirmek için küçük veya büyük birçok atılımı vardır. 2018 yılı Uluslararası Enerji Ajansı verilerine göre yenilenebilir enerji kaynaklı küresel elektrik üretimi payı %26 olarak hesaplanmıştır. Bu durum küresel çapta %100 yenilenebilir enerjiye geçişe %26 oranında geçiş yapıldığı göstermektedir. 2018 yılına kadar, 169 ülkede ulusal veya eyalet/il düzeyinde %100 yenilenebilir enerjiye geçiş hedeflenmiştir. Otobüslerin hava kirliliğine diğer toplu taşıma araçlarına göre daha fazla olumsuz katkıda bulunmasından dolayı yenilenebilir bir güce geçmek için Uganda'da güneş otobüsleri, Hindistan'da güneş feribotu, Hollanda'da rüzgar enerjili trenler kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca ülkelerin %100 yenilenebilir enerji yolunda ilerlemek için yürüttükleri bir dizi politika önlemi de bulunmaktadır. Avustralya'da New South Wales Üniversitesi dünyanın tamamen güneş enerjisiyle çalışan ilk üniversitesi olmuştur, 2020 yılına kadar %100 güneş

enerjisiyle çalışmaya başlayacaktır. Yine Kenya'daki birçok üniversite (Strathmore ve Kenyatta Üniversiteleri dahil), enerji tedarigi için güneş panelleri kullanmaktadır ve ürettikleri elektriği aynı zamanda ulusal şebekeye satarak para kazanmaktadır. İskoçya, 2020 yılına kadar tüm elektrik enerjisini yenilenebilir enerji kaynaklarından üretmeyi hedeflemektedir. Arnavutluk, Norveç ve Kosta Rika %100 yenilenebilir enerjiye geçiş sağlamış ülkelerdendir. Hollanda demiryolu ağı sistemlerinde, trenlerinin %100'üne rüzgar enerjisi ile güç vermektedir. İngiltere'deki 21 Katolik Piskoposluk'tan 16'sı %100 yenilenebilir enerjiye geçiş yapıp, yenilenebilir enerji satın alma sözü vermiştir. Tüm bu bilgiler ışığında Dünya'da da yenilenebilir üretiminin payının arttığını ve %100 yenilenebilir enerjiye geçişin hızlandığını ve gelişmiş ve gelişmekte olan tüm ülkelerin bu konuda adımlar attığını söylemek mümkündür.

3.2. Türkiye'de %100 Yenilenebilir Enerjiye Geçiş

Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de hem enerji talebi hem de enerji üretimi gün geçtikçe artmaktadır. Ancak bu enerji üretiminin ve enerji talebinin artmasına rağmen enerji üretim kaynaklarının temelini oluşturan fosil yakıt kaynaklarının azalması ve fosil yakıt kaynaklarının çevre kirliliği yaratması sebebiyle Dünya %100 yenilenebilir enerjiye geçişe yönelmektedir. Bu sebeple alternatif bir enerji kaynağı olan yenilenebilir enerji kaynaklarına ve %100 yenilenebilir enerjiye geçiş konseptine yönelim ülkemizde de artmıştır. Şekil 4'te Türkiye'de elektrik enerjisi üretiminin kaynak bazında gelişimi incelenmiş ve son 10 yıllık periyot için fosil ve yenilenebilir üretimin payının değişimi verilmiştir.

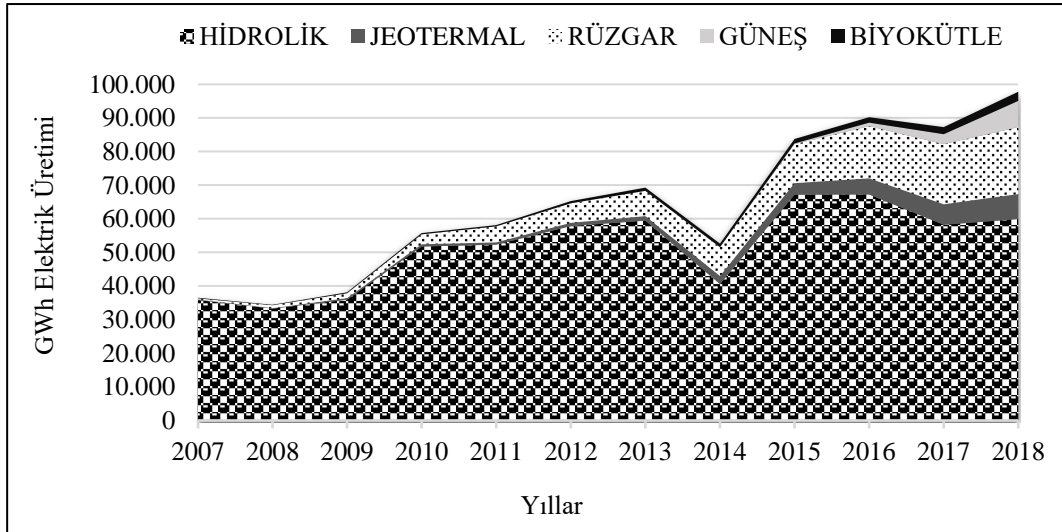


Şekil 4: Türkiye’de Elektrik Enerjisi Üretiminin Kaynak Bazında Gelişimi (TEİAŞ, 2019).

Şekil 4’teki istatistiksel verilere göre, 2007 yılından bu yana elektrik enerjisinin kaynak bazında gelişimi farklılık göstermiştir. 2007 yılında Türkiye’de elektrik enerjisi üretiminde fosil üretimin payı %80 iken bu değer 2018 yılında %67’lere düşmüştür; buna tezat olacak şekilde yenilenebilir üretimin payı 2007 yılından bu yana %19’lardan %32’lere yükselmiştir. Bu durumda Türkiye’nin elektrik enerjisi üretiminde %100 Yenilenebilir Enerjiye Geçiş konsepti için %12’lik bir artış

gösterdiği ve %32 oranında %100 yenilenebilir enerjiye geçiş yapabildiği görülmüştür.

2018 yılında elektrik enerjisi üretiminin %32’i yenilenebilir üretimden %68’si fosil üretimden ve %0,31’i ise atık ısıdan sağlanmıştır. 2018 yılı itibarıyla %100 yenilenebilir enerjiye geçişte %32’lik bir yol kat eden Türkiye’de bu geçişin sağlanmasında hangi yenilenebilir enerji türlerinin katkıda bulunduğu ise Şekil 5’te verilmiştir.

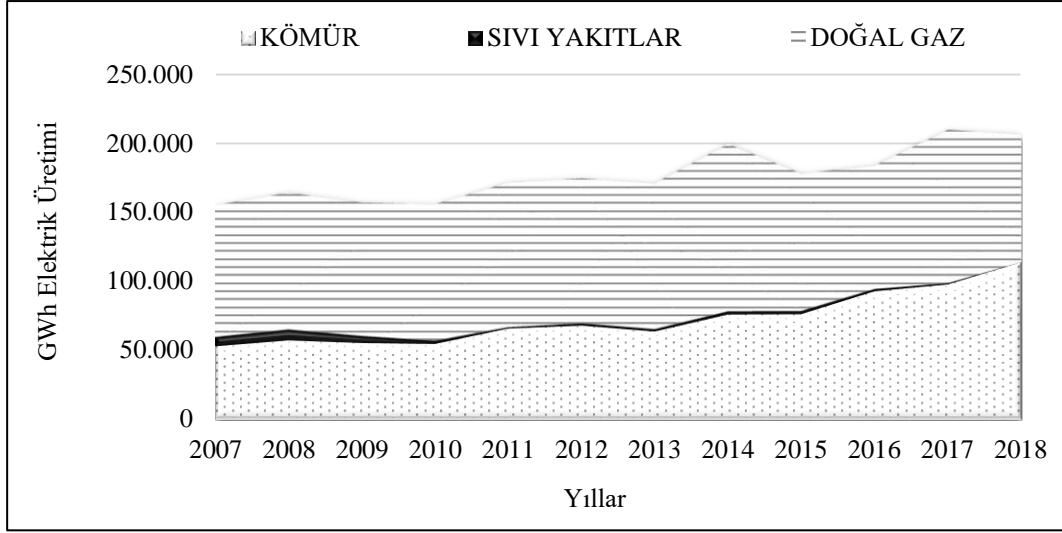


Şekil 5: Türkiye’de Elektrik Enerjisi Üretiminin Yenilenebilir Kaynak Bazında Gelişimi (TEİAŞ,2019).

Şekil 5 incelendiğinde, Türkiye’de elektrik enerjisi üretiminde yenilenebilir kaynak bazında en çok sırasıyla hidrolik enerji, jeotermal enerji, rüzgar enerjisi, güneş enerjisi ve biyokütle enerjisi etkilidir. Her bir yenilenebilir enerji türü 2007 yılından bu yana genel olarak artış göstermiştir. Hidrolik enerji ile 2007 yılında 35.000 GWh elektrik enerjisi üretilirken 2018’de bu rakam 60.000 Gwh’lara ulaşmıştır, jeotermal enerji ile 2007 yılında 156.000 GWh elektrik enerjisi üretilirken 2018’de bu rakam 7400 Gwh’lara ulaşmıştır. Son 11 yıllık periyotta tüm enerji türleri belirgin bir artışla enerji üretimine

devam etmiştir. Güneş enerjisi ile elektrik enerjisi üretimi 2014 yılı itibarıyla başlamış olup, 2018 yılına gelindiğinde güneş enerjisiyle 7800 Gwh elektrik enerjisi üretilmiştir. Tüm bu enerji türleri arasında 2018 yılı itibarıyla en düşük elektrik enerjisi üretimi payına 2600 Gwh ile biyokütle enerjisi sahiptir. Tüm enerji türlerinin elektrik üretimindeki paylarının 2013-2014 yıllarındaki düşüşünün sebebi ise EPDK tarafından yenilenebilir enerji üretimine getirilen lisanslar ve düzenlemelerdir.

Şekil 6’da ise Türkiye’de elektrik enerjisi üretiminin fosil kaynak bazında gelişimi incelenmiştir.

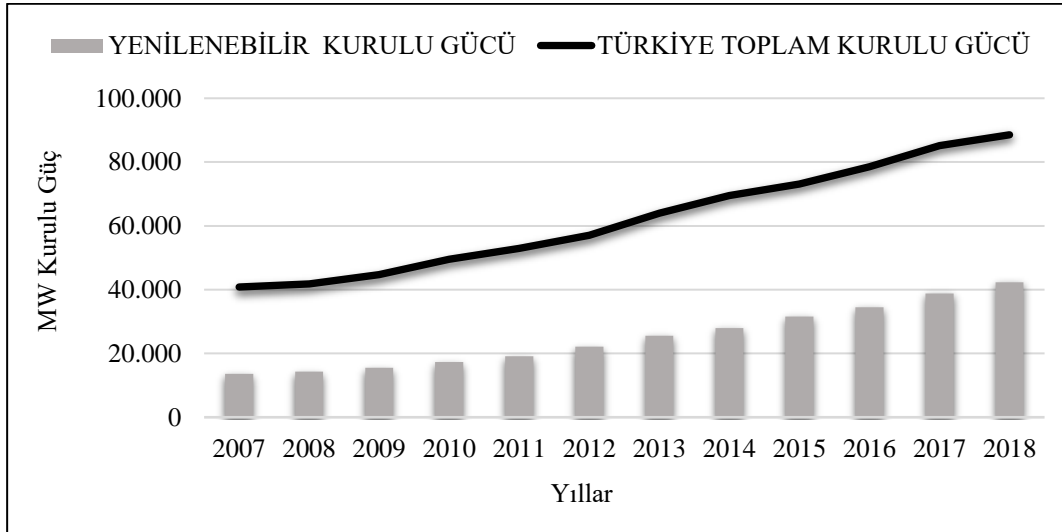


Şekil 6: Türkiye'de Elektrik Enerjisi Üretiminin Fosil Kaynak Bazında Gelişimi (TEİAŞ, 2019).

Türkiye'de elektrik enerjisi üretiminin fosil kaynak bazında gelişimi incelendiğinde ise (Şekil 6) elektrik üretiminde fosil üretimin payının da yüksek olduğu ve Şekil 5'teki yenilenebilir enerji kaynak bazlı elektrik üretimi ile karşılaştırıldığında en yüksek elektrik enerjisi üretiminin hedefin %100 yenilenebilir enerjiye geçiş olmasına rağmen yenilenebilir olmayan fosil üretimden (kömür ve doğalgaz) sağlandığı görülmüştür. Fosil üretim ile toplam elektrik enerjisi üretimi 206.000 GWh iken;

yenilenebilir üretim ile elektrik enerjisi üretimi 97.000 GWh civarındadır. %100 yenilenebilir enerjiye geçişte yenilenebilir enerji üretim payı artmasına rağmen, fosil üretim payı da artmaktadır bu durumun çözümü için %100 yenilenebilir enerjiye ve yenilenebilir enerji kullanımına teşvik artırılmalıdır.

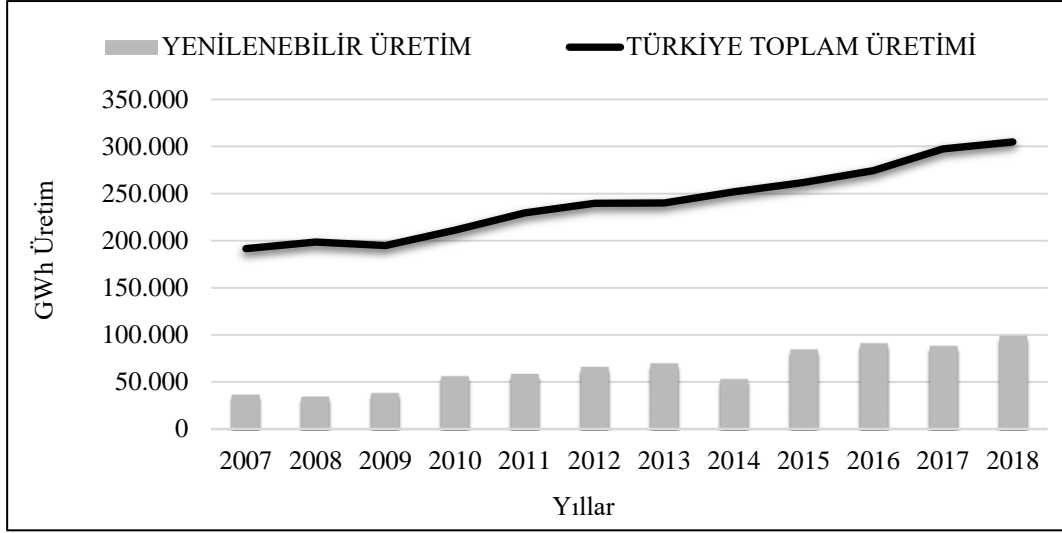
Şekil 7'de Türkiye'nin yenilenebilir kurulu gücünün payı verilmiştir.



Şekil 7: Türkiye Yenilenebilir Kurulu Gücünün Payı (MW) (TEİAŞ, 2019).

Türkiye'de yenilenebilir kurulu gücün payına (MW) bakıldığında (Şekil 7) Türkiye'deki toplam kurulu gücün içerisinde yenilenebilir kurulu gücün payının arttığı görülmektedir.

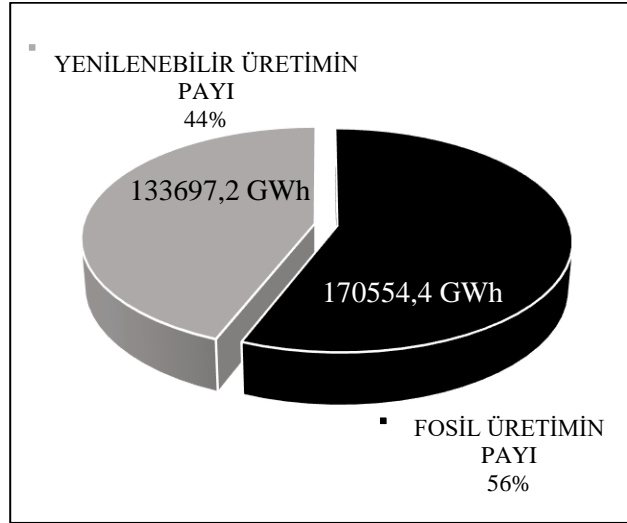
Şekil 8'de ise Türkiye'deki toplam elektrik enerji üretiminde yenilenebilir enerji üretiminin payı verilmiştir.



Şekil 8: Türkiye'de Yenilenebilir Elektrik Enerjisi Üretim Payı (GWh) (TEİAŞ, 2019).

Şekil 8'deki verilere göre, son 11 yıllık periyotta Türkiye'nin toplam elektrik enerjisi üretimindeki yenilenebilir üretim payının arttığı görülmektedir. 2007 de toplam enerji

üretiminde yenilenebilir enerjinin üretim payı %19 iken 2018'de bu pay %32'ye yükselmiştir. Türkiye'nin 2019 yılındaki elektrik enerjisi üretimi Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9: Türkiye'de 2019 Yılı Elektrik Enerjisi Üretimi (TEİAŞ, 2020).

Şekil 9'daki veriler ışığında, 2019 yılında Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretiminin 133697,2 GWh ile %44'lük bir paya sahip olduğu görülmektedir. 2018 yılı ile kıyaslandığında 2019 yılında yenilenebilir elektrik enerjisi üretiminin payı %12 artmıştır ve Türkiye'de %100 yenilenebilir enerjiye geçişte son 12 yıllık periyotta en yüksek ilerleme kaydedilmiştir, 2019 yılı %100 yenilenebilir enerjiye geçişte önemli bir basamak olmuştur.

Türkiye'nin enerji profilinde yenilenebilir enerjinin payının sürekli artıyor oluşu Türkiye'nin %100 yenilenebilir enerjiye geçişte pozitif yönde ilerlediğini göstermektedir. Ülkemizde değerlendirilmeye açık çok önemli yenilenebilir enerji kaynak potansiyeli bulunmaktadır. Ülkede yaşanan enerji krizlerinin sebebi, enerji planlaması ve yönetiminde uzun yıllardır sürdürülen yanlış politikalarından kaynaklanmaktadır. %100 yenilenebilir enerjiye geçişte, enerji planlaması ve enerji yönetiminde ülke gerçekleri göz önünde bulundurularak üniversitelerden, meslek odalarından destek alınarak, doğru politikalar oluşturulmalı, yasal düzenlemeler hızla yapılmalıdır.

3.3. Geleceğe Doğru

Tüm dünyada ve ülkemizde enerji konusu büyük bir problemdir. Enerji problemlerinin çoğu rant sağlama, yatırımların doğru yapılmaması ve riskli projelerden kaynaklanmaktadır. Enerji problemlerinin çözümü için yenilenebilir üretime geçmek, %100 yenilenebilir enerjiye geçmek en temiz ve doğru çözüm olacaktır. %100 yenilenebilir enerjiye geçiş için enerji sektöründeki kar/zarar tartışmalarını bir kenara bırakıp, verimliliği temel alan, bilimsel açıdan uygun, siyasal etkilerden yasalarla korunmuş bir enerji sistemi getirilmelidir.

Ülkemiz elektrik enerjisi üretiminde %75 oranda dışa bağımlıdır. 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu kapsamında uygulanmaya çalışılan yönetmelikler de bu konuda çok önemli bir mesafe alınmasına katkı sağlayamamaktadır. Bu bağımlılık, maalesef siyasi ve ekonomik anlamda da bağımsızlığa engel olmaktadır.

%100 Yenilenebilir Enerjiye geçişte, hedefi gerçekleştirebilmek için yapılabileceklerden en önemlisi yerel

yönetimlerin hedefi gerçekleştirmede çabalamasıdır. Yerel yönetim yetkililerinin enerji ile ilgili politikaları oluştururken %100 yenilenebilir enerjiye geçişi hedeflemesi uygulanabilirliği de olumlu yönde etkileyecektir. Hedefin gerçekleştirilmesi için yapılabilecek genel adımlar ve Türkiye için özel adımlar ise aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

Genel yaklaşımlar;

- %100 yenilenebilir enerjiye geçişin uygulanabilir ve yararlı olduğunu açıklamak için yetkililerle toplantılar düzenlemek.
- %100 yenilenebilir enerjiye hızlı bir geçiş için yerel iklim eylem planı geliştirmek.
- Toplumda enerji kontrolü bilincini ve uygulamasını artırarak, enerji tasarrufunu ve erişimini iyileştirmek, temiz enerji üretimini sağlamak, küçük işletme faaliyetlerini desteklemek; yerel yönetim binalarındaki enerji maliyetlerini azaltarak kamu parasından tasarruf etmek, hava ve su kirliliğini azaltmak.
- Ulaşım konusunda toplu taşımayı arttırmak ve yenilenebilir enerjinin ulaşımında kullanılmasını teşvik etmek.
- Yenilenebilir enerjiyi daha sağlıklı, daha erişilebilir ve sürdürülebilir hale getirmek için tüm taşıma sistemlerini elden geçirmek, ulaşım sistemlerindeki fosil yakıt bağımlılığını azaltmak, iklim değişikliği ve hava kirliliği ile mücadele etmek. (Örneğin; toplu ulaşım araçlarında elektrik enerjisine geçmek, şehirdeki fosil yakıtla çalışan arabaları azaltmak ve yasaklamak, elektrikli özel araçlara teşvik vermek.)
- Yerel makamlar, kamu ofisleri dahil olmak üzere mümkün olan her yerde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına geçmek ve binaları enerji bakımından verimli hale getirmek.
- %100 yenilenebilir enerjiye geçiş yapmış ülke, şehir, kurum ve kuruluşlarla birlikte çalışarak onların tecrübelerinden yararlanarak ortak fikir paylaşımları irtibata geçmek ve izledikleri yolu incelemek.
- İklim değişikliğinden en çok etkilenen, hava, toprak, su kirliliği gibi fosil yakıtların doğrudan etkilerini yaşayan toplulukların yeni bir enerji sistemine geçerken lider olması.
- Tüm tıbbi otoritelerin fosil yakıtların özellikle hava kirliliği yoluyla halk sağlığına verdiği zararı kabul etmesi sebebiyle, öncelikle tıbbi derneklerin, hastanelerin ve sağlık merkezlerinin, %100 yenilenebilir enerjiye hızlıca geçişini sağlamak.
- Genişleyen yenilenebilir enerji sektöründe işçilerin yeniden eğitilmesini ve istihdamın yenilenmesini sağlamak.
- Bu konu hakkında çalışmalar yapan sendikalar ve gençlik örgütlerinin, fosil yakıt sektöründe çalışan işçiler de dâhil olmak üzere herkes için yenilenebilir enerjiye geçişte istihdam verilmesini sağlaması (URL2).

Türkiye için öncelikli yaklaşımlar;

- Jeotermal enerji bakımından dünya ülkeleri arasında zengin konumda olan ve aktif bir tektonik kuşak üzerinde yer alan Türkiye’de, jeotermal enerji potansiyeli oluşturan alanların %78’i Batı Anadolu’da, %9’u İç Anadolu’da, %7’si Marmara Bölgesi’nde, %5’i Doğu Anadolu’da ve %1’i diğer bölgelerde yer almaktadır.
- 2008 yılında, Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu’nun yürürlüğe girmesi ve özel sektörün de jeotermal arama, geliştirme ve yatırım çalışmaları ile birlikte ülkemizin toplam jeotermal ısı kapasitesi (görünür ısı miktarı) 35.500 MW’a ulaşmıştır (URL5).
- Jeotermal enerji kaynaklarının arama ve ortaya çıkarılması çalışmalarına hız vermek, mevcut kaynakların geliştirilmesini sağlamak ve jeotermal enerji aramaları için sağlanan ödenekleri artırmak.

Türkiye’de yenilenebilir enerji ile elektrik üretiminde en çok kullanılan iki yenilenebilir enerji türü rüzgar ve güneş enerjisidir. 2018 yılında güneş enerjisi ile elektrik enerjisi üretimi 7800 Gwh olmuştur (TEİAŞ, 2019). Yine elektrik üretiminde rüzgar enerjisinin payı da ülkemiz için önemlidir. Bu sebeple hem rüzgar hem de güneş enerjisi ile elektrik üretimi payının artması için her iki enerji türünün de kaynaklarının artırılması, bu konu ile ilgili yatırımlara önem verilmesi gerekmektedir.

4. Sonuç ve Değerlendirme

Dünya iklim değişikliklerinin etkileri nedeniyle bir dönüm noktasındadır. Artan nüfus, enerji talebi ve enerji kullanımıyla birlikte enerji konusu problem haline gelmiştir. Fosil üretimin yarattığı çevre kirliliği ve olumsuzlukların aksine yenilenebilir üretimin avantajları dünyanın %100 yenilenebilir enerjiye geçişini zorunlu kılmaktadır. Güneş, rüzgar, hidro elektrik de dahil olmak üzere yenilenebilir enerji kaynakları daha az karbon ve daha çok sürdürülebilir bir enerji sistemine geçişin merkezindedir. Güneş, bir yılda tüm dünyanın kullanabileceğinden çok daha fazla enerji sağlayabilen yenilenebilir enerji kaynaklarından sadece birisidir, bunun yanısıra yenilenebilir enerji kaynaklarına ne kadar yatırım yapılırsa, elektrik üretiminin de o kadar ucuz olacağı apaçık bir gerçektir. %100 yenilenebilir enerji ile çalışan bir dünyaya ulaşmak için hem yerel hem de küresel anlamda kat edilmesi gereken çok yol vardır.

Hem Dünya’da hem de ülkemizde %100 yenilenebilir enerjiye geçişte önemli bir yol kat edilmiştir. 2007 yılından bu yana Türkiye’de elektrik enerjisi üretiminde fosil üretimin payı %80’den %67’ye düşmüştür; yenilenebilir üretimin payı da %19’lardan %32’lere yükselmiştir. Türkiye’nin elektrik enerjisi üretiminde %100 Yenilenebilir Enerjiye Geçiş konsepti için %12’lik bir artış gösterdiği ve %32 oranında %100 yenilenebilir enerjiye geçiş yapabildiği görülmüştür. Ancak bu payın artırılması mümkündür çünkü Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyeli çok yüksektir. Bu potansiyele bağlı olarak ülkemizin enerji talebinin yenilenebilir üretimle karşılanması da mümkündür. Dünya’ya bakıldığında ise 2018 yılı Uluslararası Enerji Ajansı verilerine göre yenilenebilir enerji kaynaklı küresel elektrik üretimi payı %26 olarak hesaplanmıştır. Bu durum küresel çapta %100 yenilenebilir enerjiye geçişe %26 oranında geçiş yapıldığı göstermektedir. İskoçya, 2020 yılına kadar tüm elektrik enerjisini yenilenebilir enerji kaynaklarından üretmeyi hedeflemektedir. Arnavutluk,

Norveç ve Kosta Rika %100 yenilenebilir enerjiye geçiş sağlamış ülkelerdendir. Tüm bu bilgiler ışığında Dünya’da da yenilenebilir üretiminin payının arttığını ve %100 yenilenebilir enerjiye geçişin hızlandığını söylemek mümkündür.

Bu geçişi daha da hızlandırmak ve daha temiz bir dünyada yaşayabilmek için küresel/yerel düzeyde birçok adım atmak gereklidir. Öncelikle tabandan ulusal/küresel seviyeye doğru bir geçiş yapılmalıdır. Önce mahalle ve şehirde sonra ülkede ve son olarak dünyada %100 yenilenebilir enerjiye geçiş adım adım sağlanmalıdır. Bunun için yerel yönetimlere büyük görev düşmektedir. Fosil yakıt projelerinin ve fosil yakıt bütçesinin azaltılması, öncelikle yerel yönetim kurumları başta olmak üzere tüm devlet kurumlarının %100 yenilenebilir enerjiye geçmesi, %100 yenilenebilir enerji ekonomisine geçişin desteklenmesi bu konuda atılabilecek önemli adımlardır. Yerel yönetim yetkililerinin enerji ile ilgili politikaları oluştururken %100 yenilenebilir enerjiye geçişi hedeflemesi uygulanabilirliği de olumlu yönde etkileyecektir. Toplumda enerji kontrolü bilincini ve uygulamasını artırmak, ulaşım, ısıtma ve elektrik üretiminde yenilenebilir enerjiyi desteklemek de bu konuda önemli adımlar olacaktır.

%100 yenilenebilir enerjiye geçiş hem enerji tasarrufu sağlayacak hem temiz enerji üretimi olanağı yaratacak hem de daha sağlıklı, daha erişilebilir ve sürdürülebilir bir enerji sistemi oluşturacaktır.

Kaynakça

- Avcıoğlu, A. O., Dayıoğlu, M. A., Türker, U. (2019) Assessment of the energy potential of agricultural biomass residues in Turkey, *Renewable Energy*, 138, 610-619.
- Child, M., Kemfert, C., Bogdanov, D., Breyer, C. (2019) Flexible electricity generation, grid exchange and storage for the transition to a 100% renewable energy system in Europe. *Renewable Energy*, 139, 80-101.
- Hansen, K., Mathiesen, B. V., Skov, I. R. (2019) Full energy system transition towards 100% renewable energy in Germany in 2050. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 102, 1-13.
- Hosseini, S. E., Wahid, M. A. (2016) Hydrogen production from renewable and sustainable energy resources: promising green energy carrier for clean development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 850-866.
- Kanat, G. & Ergüven, G. Ö. (2020) Importance of solid waste management on composting, problems and proposed solutions: The case of Turkey. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (19), 66-71.
- Karabağ, N. (2018) *Atık gazlaştırma prosesi ile hidrojen gazı üretiminin bilgisayar destekli modellenmesi ve simülasyonu*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kılıçkaplan, A., Bogdanov, D., Peker, O., Caldera, U., Aghahosseini, A., Breyer, C. (2017) An energy transition pathway for Turkey to achieve 100% renewable energy powered electricity, desalination and non-energetic

- industrial gas demand sectors by 2050. *Solar Energy*, 158, 218-235.
- Murdock, H. E., Gibb, D., André, T., Appavou, F., Brown, A., Epp, B., ..., Sawin, J. L. (2019) *Renewables 2019 Global Status Report*, International Energy Agency, Renewables.
- Mutlubaş, H., Özdemir, Z. Ö. (2019) Hydrogen as an energy carrier and hydrogen production methods. *Bartın Üniversitesi Uluslararası Fen Bilimleri Dergisi*, 2(1), 16-34.
- Pandey, B., Karki, A. (2016) *Hydroelectric energy: renewable energy and the environment*. CRC Press.
- Ploetz, R., Rusdianasari, R., Eviliana, E. (2016). *Renewable energy: Advantages and disadvantages*. In *proceeding forum in research, science, and technology (FIRST) 2016*. Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Renewables 2019, *Global Status Report*, REN21, <https://www.ren21.net/>, Erişim Tarihi: 23.01.2020
- Sadiqa, A., Gulagi, A., Breyer, C. (2018) Energy transition roadmap towards 100% renewable energy and role of storage technologies for Pakistan by 2050. *Energy*, 147, 518-533.
- Shamshirband, S., Rabczuk, T., Chau, K. W. (2019) A survey of deep learning techniques: Application in wind and solar energy resources. *IEEE Access*, 7, 164650-164666.
- TEİAŞ, 2019, Türkiye Elektrik İletim A.Ş., <https://www.teias.gov.tr/>, Erişim Tarihi: 23.01.2020.
- TEİAŞ, 2020, Türkiye Elektrik İletim A.Ş., <https://www.teias.gov.tr/>, Erişim Tarihi: 04.06.2020.
- Uluslararası Enerji Ajansı, 2019, <https://www.iea.org/>, Erişim Tarihi: 23.01.2020.
- URL1: <http://www.yegm.gov.tr/>, Erişim Tarihi: 25.12.2019, Konu: *Jeotermal Enerji*.
- URL2: <https://gofossilfree.org/get-organising-100-re-23.01.2020>, 11.50, Konu: *Get organising: A Fast & Just Transition to 100% Renewable Energy*.
- URL3: <https://www.iea.org/topics/renewables/>, Erişim Tarihi: 25.12.2019, Konu: *Renewables*.
- URL4: <https://www.teias.gov.tr/>, Erişim Tarihi: 25.12.2019, Konu: *Türkiye Elektrik Enerjisi*.
- URL5: <http://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/jeotermal-harita>, Erişim Tarihi: 29.01.2020, Konu: *Jeotermal Enerji*.
- URL6: <https://www.statista.com/statistics/302274/china-power-generation/>, Erişim Tarihi: 23.01.2020, Konu: *Çin Yenilenebilir Elektrik Enerji Üretimi*.
- URL7: <https://www.statista.com/statistics/302203/china-electricity-consumption/>, Erişim Tarihi:23.01.2020, Konu: *Çin Elektrik Enerjisi Tüketimi*.
- Uyar, T. S., Beşikci, D. (2017) Integration of hydrogen energy systems into renewable energy systems for better design of 100% renewable energy communities. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(4), 2453-2456.
- Veziroglu, T. N., Sahin, S. (2019) 21st Century’s energy: Hydrogen energy system. *Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология*, (4-6), 14-27.
- Wilberforce, T., El Hassan, Z., Durrant, A., Thompson, J., Soudan, B., Olabi, A. G. (2019) Overview of ocean power technology, *Energy*, 175, 165-181.



Türk Mutfağında Bulunan Bazı Geleneksel Tatlı Türlerinin B Vitamini Kompozisyonlarının Belirlenmesi

Büşra Yusufoglu^{1*}, Kübra Özkan², Emine Karakuş¹

^{1*} Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-9158-9732), yusufoglubusra@gmail.com

² Sabahattin Zaim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7268-3571), dyt.kubraozkann@gmail.com

¹ Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, İstanbul, Türkiye (0000-0002-7730-3304), eminekaraku@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 2 Ekim 2020 ve Kabul Tarihi 16 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.797273)

ATIF/REFERENCE: Yusufoglu, B., Özkan,, K. & Karakuş, E. (2021). Türk Mutfağında Bulunan Bazı Geleneksel Tatlı Türlerinin B Vitamini Kompozisyonlarının Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 241-246.

Öz

Bu çalışmada, laboratuvar koşullarında geleneksel servis usulüne göre hazırlanmış olan dört farklı geleneksel tatlı türünde bulunan bazı suda çözünen vitamin kompozisyonlarının miktarı belirlenmiştir. Çalışmada, B₂ (riboflavin), nikotinic asit, nikotinamid, piridoksin (PN), piridoksal (PL) ve piridoksamin (PM) kompozisyonları miktarları Ters Fazlı – Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi teknikleri kullanılarak (RP-HPLC) tespit edildi. B grubu vitamin kompozisyonlarının analizinde, HPLC cihazı, kapasite faktörü, seçicilik faktörü, çözünürlük faktörü gibi birçok kromatografik parametreye bağlı olduğu için en uygun ve en doğru analitik tekniklerden biridir. Çalışmada kullanılan örnekler; aşure, cevizli güllaç, kabak tatlısı, kadayıf dolmasıdır. Birçok ülkede geleneksel gıdaların besin kompozisyonları ile ilgili olarak yeterince bilgi bulunmamaktadır. Dolayısıyla, daha ileri çalışmalar gereklidir. Bu çalışmada, geleneksel tatlı türlerinde bulunan suda çözünen bazı vitaminlerin miktarlarını belirlemesi ve kaynak oluşturmaya katkı sağlaması açısından önemlidir. Çalışmada, B grubu vitaminlerinin analiz edilmesinin sebebi metabolizmada enerji üretiminin normal seviyelerde devam edebilmesinin B vitaminleri miktarına bağlı olmasından dolayıdır. Ayrıca, günlük diyetlerde B vitaminleri antioksidan özelliğine sahip olmakla beraber karbonhidrat metabolizmasında nikotinamin dinükleotit (NAD) ve flavinadenin dinükleotit (FAD) gibi koenzimlerin aktivitesinde önemli rol oynamaktadır. Çalışma sonucunda geleneksel tatlı türlerinin B vitamini kompozisyonları miktarları, en yüksek B₁ vitamini 1917.4 µg/porsiyon aşure, B₂ vitamini 224.20 µg/porsiyon kabak tatlısı, B₃ vitamini cevizli güllaç 3.4202 µg/porsiyon ve son olarak B₆ vitamini 573.30 µg/porsiyon kadayıf dolma olarak bulundu. Geleneksel tatlı türlerinin, bir porsiyonlarının günlük B grubu vitamin ihtiyacımızı karşılama oranları ise sırasıyla: aşure; B₁ %164.5, B₂ %9.49, B₃ %8.12, B₆ %23.8, cevizli güllaç; B₁ %6.05, B₂ %10.3, B₃ %8.39, B₆ %12.4, kabak tatlısı; B₁ %2.37, B₂ %17.2, B₃ %9.79, B₆ %19.2, kadayıf dolma; B₁ %12.4, B₂ %12.4, B₃ %24.3, B₆ %43.9 şeklinde bulundu.

Anahtar Kelimeler: Geleneksel tatlı türleri, Suda çözünen vitaminler, HPLC

Determination of Vitamin B compositions of some Traditional Dessert Types in Turkish Cuisine

Abstract

In this study, amount of some water soluble vitamin compositions were determined in four different traditional dessert types prepared in the laboratory conditions. In study, according to the traditional service method were determined using Reverse Phase - High Performance Liquid Chromatography techniques (RP-HPLC). In the analysis of group B vitamin compositions, HPLC techniques are one of the most appropriate and accurate analytical techniques, as they depend on many chromatographic parameters such as capacity factor, selectivity factor, solubility factor. Examples used in the study; asure, walnut rose, pumpkin dessert and kadayıf stuffed. In many countries, there is not enough information related to nutritional composition of traditional foods. Therefore, further studies are required. In this study, it is important in terms of determining the amount of some water soluble vitamins found in traditional dessert types and contributing to source. In the study, the reason for analyzing the B group vitamins is that the energy production in metabolism can continue at normal levels and depends on the amount of B vitamins. In addition, although B vitamins have antioxidant properties in daily diets, they play an important role in the activity of coenzymes such as nicotinamine dinucleotide (NAD) and flavinadenin

*Sorumlu Yazar: yusufoglubusra@gmail.com

dinucleotide (FAD) in carbohydrate metabolism. As a result of the study, the amount of compositions of vitamins B of traditional dessert types were found as the highest vitamin B₁ 1917.4 µg/portion asure, vitamin B₂ 224.20 µg/portion pumpkin dessert, vitamin B₃ 3.4202 µg/portion walnut rose and finally vitamin B₆ 573.30 µg/portion in kadayif stuffed. The ratios of one portion of traditional desserts to cover our daily vitamin B requirements were found respectively, asure B₁ 164.5%, B₂ 9.49%, B₃ 8.12%, B₆ 23.8%, walnut rose; B₁ 6.05%, B₂ 10.3%, B₃ 8.39%, B₆ 12.4%, pumpkin dessert; B₁ 2.37%, B₂ 17.2%, B₃ 9.79%, B₆ 19.2%, kadayif stuffed; B₁ 12.4%, B₂ 12.4%, B₃ 24.3%, B₆ 43.9%.

Keywords: Traditional dessert types, Water-soluble vitamins, HPLC

1. Giriş

Türkiye; İran, Ortadoğu, Orta Asya, Bizans İmparatorluğu ve Osmanlı İmparatorluğu'nun Asya, Afrika ve Avrupa tarafından yönetilen toprakları dahil olmak üzere birçok kültürden etkilenmiştir. On altıncı yüzyılın başlarından on dokuzuncu yüzyıla kadar etkisi büyük ölçüde doğudan batıya doğru ilerlediği için geleneksel yemek kültürü üzerinde, özellikle de Türk şekerleme ürünlerinde büyük etkileri olmuştur [1], [2]. Dolayısıyla geleneksel gıdalar nesilden nesile aktarılan bir mirası temsil etmektedir. Bu açıdan sürdürülmesine katkı sağlanmalı ve besinsel kompozisyonlarının belirlenmesi de dahil olmak üzere ayrıntılı birçok dokümantasyon gereklidir [2].

Vitaminler, insan vücudunda metabolik faaliyetlerin çalışması için gerekli olan organik bileşikler grubudur. Kimyasal ve fizyolojik işlevleri çok çeşitlidir ve doğal gıda kaynaklarında yaygın olarak bulunurlar. İnsan beslenmesinde vitaminler çözünürlüklerine göre iki gruba ayrılabilir [3]. Çalışmamızda, tiamin, riboflavin, B₃ nikotinik asit, nikotinamid, piridoksin, piridoksal, piridoksamin gibi suda çözünen B vitamini kompozisyonlarının miktarları analiz edilecektir.

Vitamin eksikliğinin, kardiyovasküler rahatsızlıklar ve kronik böbrek rahatsızlığı üzerine etkisinin incelendiği bir çalışmada B₆ vitamininin alınmasının kronik böbrek rahatsızlığına sahip olan kişilerde olumlu etkilere sahip olduğu belirtilmiştir [4]. Bunun dışında, B₆ vitaminlerinin bazı vitamerleri ve B₁ vitaminlerinin aminoguanidine kıyasla endojen glikasyon ürünlerinin oluşumunu daha çok kısıtladığı belirtilmiştir [5]. B₃ vitamini (niasin), gıdalarda nikotinik asit (C₆H₅NO₂) ve nikotinamid (C₆H₆N₂O) olarak bulunan suda çözünen önemli vitaminlerden biridir. Niasin, biyosentez ve enerji üretimi gibi birçok önemli biyolojik fonksiyona sahiptir [6]. Riboflavin, koenzim olan flavin mononükleotit (FMN) ve flavin adenin dinükleotidi (FAD) gibi formların yapısına katılır. Enerji metabolizmasında, oksidasyon ve indirgeme reaksiyonlarında rol oynar [7]. Riboflavin eksikliği, flavin koenzim aktivitesini azaltır ve demir emilimine müdahale ederek anemi, kanser ve kardiyovasküler rahatsızlıkların oluşmasına neden olur. Özellikle folat ve B₆ vitamini miktarı, riboflavin miktarına bağlı olarak azalabilmektedir [8].

Geleneksel gıdaların incelenmesi, diyet tarzı ve bunların zaman içinde nasıl şekillendiğine dair önemli bir fikir sunar. Geleneksel yiyecekler zaman içinde test edilmiş potansiyel sağlık özelliklerine sahip olabilir. Bu nedenle, halkın beslenme ve sağlıklı beslenme konusundaki mevcut ilgisi, geleneksel gıdalara olan talebin artmasına katkıda bulunmuştur [9].

2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışmada Kullanılan Örnekler

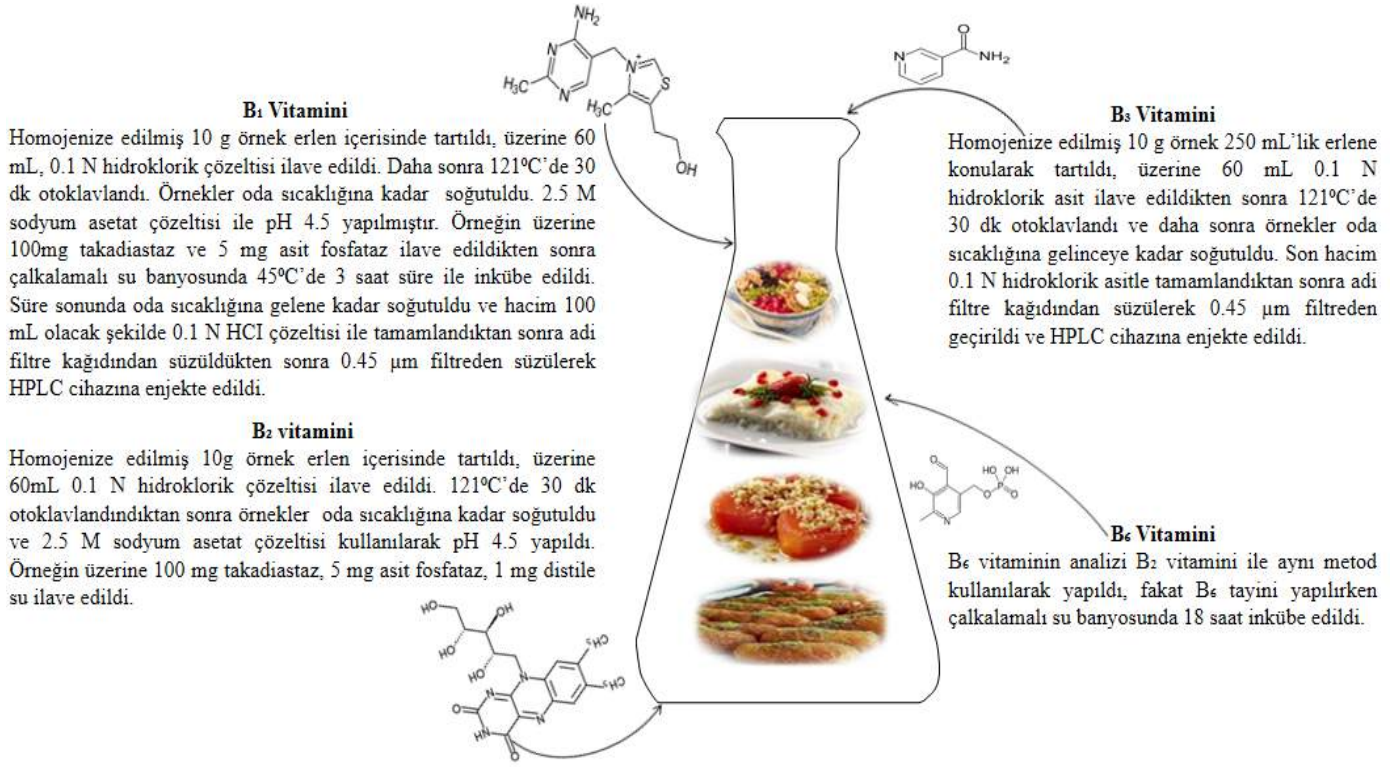
Bu çalışma da kullanılan dört farklı geleneksel tatlı türü için gerekli tüm malzemeler İstanbul, Türkiye'de bulunan marketlerden satın alınarak geleneksel servis usulüne uygun bir şekilde hassas terazi ile tartılarak İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Beslenme Laboratuvarı'nda hazırlandı. Her bir örnek için porsiyon miktarı ayrı ayrı tartılarak belirlenmiştir sırasıyla; aşure, cevizli güllaç, kabak tatlısı, kadayıf dolma için sırasıyla 301 g, 220 g, 190 g, 245 g şeklindedir.

2.1.1. Materyal

Bu makalede kullanılan çözeltiler analitik saflıkta, günlük olarak hazırlandı. Hidroklorik asit çözeltisi, taka diastaz, ortofosforik asit ve potasyum ferrisiyanid çözeltisi (%1) Sigma Chem. Co. (St. Louis, MO), sodyum hidroksit çözeltisi FlukaAnalytical, sodyum asetat çözeltisi (2.5 M) Isolabchemicals marka satın alındı. Su arıtma sistemi (Direct-Q3 UV) ile damıtılmış su ile hazırlandı. Deney sırasında HPLC Shimadzu marka Nexera-i LC - 2040C 3D tip (Shimadzu Corp., Japonya), çalkalamalı su banyosu (Memmert GmbH + Co.KG, Almanya), buzdolabı (Uğur Soğutma Makinaları, Türkiye), öğütücü (Sinbo), hassas terazi (Radwag - AS 220.R2, Radwag Terazileri ve Terazileri, Polonya), otomatik pipetler (100 / 1000µl-5 / 50µl- 2 / 200µl), (Axyptet - Otoklavlanabilir, Merck Almanya), ultrasonik su banyosu (Selecta Ultrasons HD, JP SELECTA SA İspanya), 0.45 µm CA filtresi (Chromafil CA-45/25) kullanıldı.

2.1.2. Metod

Bu çalışma da sırasıyla; B₁, B₂, B₃ ve B₆ vitamin kompozisyonları her bir örnek için farklı metodlar modifiye edildi [10], [11], [12]. Tüm örnekler için, stok çözeltisini çözmek için 0.1 N hidroklorik asit çözeltisi hazırlandı. Çalışma sırasında kullanılan her bir standard çözeltisi günlük olarak, analiz için hazırlandı. Daha sonra Şekil 1.'deki modifiye yöntem sırasıyla kullanıldı. Örnekler hazırlandıktan sonra, B₁, B₂ ve B₆ vitamini analizi Shimadzu Nexera-i LC - 2040C 3D (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan) marka HPLC cihazında yapıldı. Mobil faz distile su ve asetonitril ile (85:15) hazırlandı. Floresans dedektörde, eksitasyon dalga boyu ve emisyon dalga boyu sırasıyla 445 nm ve 525 nm olarak ayarlandı. B₁ vitamini, analitik ters fazlı kolon (Agilent Eclipse XCD- C18, 5µm, 4.6x150 mm) ile 1 mL/dakika akış hızıyla ayrıldı. Farklı olarak B₃ vitaminin analizi sırasında eksitasyon dalga boyu ve emisyon dalga boyu sırasıyla 322 nm ve 380 nm olarak ayarlandı.



Şekil 1. B₁, B₂, B₃ ve B₆ Vitaminlerinin Analizi

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Tatlı Türlerinde Bulunan B₁, B₂, B₃ ve B₆ Vitamin Miktarları

Bu çalışmada dört çeşit aşure, kadayıf dolması, cevizli güllaç, kabak tatlısı gibi geleneksel tatlı türlerinin, tiamin, riboflavin, nikotinik asit, nikotinamid, piridoksin, piridoksal ve piridoksamin miktarlarını belirledi.

Bu çalışmada, bazı geleneksel tatlı türlerinde bulunan B₁ vitamini kompozisyonları Tablo 1'de verilmiştir. En yüksek B₁ vitaminine sahip geleneksel tatlı türü aşuredir. 1 porsiyon aşure içerisinde 1917.4 µg/porsiyon B₁ vitamini vardır. Biyoerişebilirlik açısından değerlendirildiğinde aşurenin B₁ vitamini sindirilebilirliği en yüksektir (Tablo 1.).

Tablo 2'de bazı geleneksel tatlı türlerinde bulunan B₂ vitamini kompozisyonları verilmiştir. En yüksek B₂ vitaminine sahip geleneksel tatlı türü kabak tatlısıdır. 1 porsiyon kabak tatlısı içerisinde 224.20 µg/porsiyon B₂ vitamini vardır. Biyoerişebilirlik açısından değerlendirildiğinde kabak tatlısının sindirilebilirliği en yüksektir (Tablo 2.).

Bazı geleneksel tatlı türlerinde bulunan B₃ vitamini kompozisyonları Tablo 3'de verilmiştir.

En yüksek B₃ vitaminine sahip geleneksel tatlı türü kadayıf dolmadır. 1 porsiyon kadayıf dolma içerisinde 3.4202 µg/porsiyon B₃ vitamini vardır. Biyoerişebilirlik açısından değerlendirildiğinde kadayıf dolma sindirilebilirliği en yüksektir (Tablo 3).

Bazı geleneksel tatlı türlerinde bulunan B₆ vitaminin piridoksin (PN), piridoksal (PL) ve piridoksamin (PM) gibi kompozisyonları ve toplam B₆ miktarı Tablo 4'de verilmiştir. En yüksek B₆ vitaminine sahip geleneksel tatlı türü kadayıf dolmadır. 1 porsiyon kadayıf dolma içerisinde 573.30 µg/porsiyon B₆ vitamini vardır. Biyoerişebilirlik açısından değerlendirildiğinde kabak tatlısının sindirilebilirliği en yüksektir (Tablo 4.).

Bu çalışmada şeker içeriğine sahip tatlı türlerinin 1 porsiyonlarının günlük B grubu vitamin ihtiyacımızı karşılama oranları sırasıyla: aşure; B₁ %164.5, B₂ %9.49, B₃ %8.12, B₆ %23.8, cevizli güllaç; B₁ %6.05, B₂ %10.3, B₃ %8.39, B₆ %12.4, kabak tatlısı; B₁ %2.37, B₂ %17.2, B₃ %9.79, B₆ %19.2, kadayıf dolma; B₁ %12.4, B₂ %12.4, B₃ %24.3, B₆ %43.9 şeklinde bulunmuştur.

Tablo 1. Bazı Geleneksel Tatlı Türlerinde Bulunan B₁ Vitamini Miktarları

Örnekler	µg/100g	µg/ porsiyon	µg/ %
Aşure	634.9±28.7	1917.4 ^a	164.5
Cevizli Güllaç	32.9±1.5	72.600 ^b	6.05
Kabak Tatlısı	15.0±0.7	28.500 ^b	2.37
Kadayıf Dolma	60.8±2.8	149.45 ^b	12.4

Tablo 2. Bazı Geleneksel Tatlı Türlerinde Bulunan B₂ Vitamini Miktarları

Örnekler	µg/100g	µg/portion	µg/%
Aşure	40.9±1.8	123.41 ^a	9.49
Cevizli Güllaç	60.8±2.8	134.20 ^a	10.3
Kabak Tatlısı	117.6±5.3	224.20 ^a	17.2
Kadayıf Dolma	65.8±3.0	161.70 ^a	12.4

Tablo 3. Bazı Geleneksel Tatlı Türlerinde Bulunan B₃ Vitamini Miktarları

Örnekler	Nikotinik asit µg/100g	Nikotinamid µg/100g	Toplam B ₃ vitamini µg/100g	µg/ porsiyon	µ /%
Aşure	217.3±9.8	160.5±7.3	379.00	1.1408 ^b	8.12
Cevizli Güllaç	187.4±8.5	346.8±15.7	536.00	1.1792 ^b	8.39
Kabak Tatlısı	490.4±22.2	231.2±10.5	724.00	1.3756 ^b	9.79
Kadayıf Dolma	1004.6±45.5	386.7±17.5	1396.0	3.4202 ^a	24.3

Tablo 4. Bazı Geleneksel Tatlı Türlerinde Bulunan B₆ Vitamini Miktarları

Örnekler	PL µg/100g	PN µg/100g	PM µg/100g	Toplam B ₆ vitamini µg/100g	µg/porsiyon	µg/%
Aşure	18.9±0.9	23.9±1.1	60.4±3.6	103.0	310.03 ^{ab}	23.8
Cevizli Güllaç	43.9±2.0	7.0±0.3	22.9±1.0	74.00	162.80 ^b	12.4
Kabak Tatlısı	95.7±4.3	26.9±1.2	9.0±0.4	132.0	250.80 ^{ab}	19.2
Kadayıf Dolma	173.4±7.8	31.9±1.4	27.9±1.3	234.0	573.30 ^a	43.9

3.2. Tartışma

Bu çalışmada tiamin, riboflavin, nikotinik asit, nikotinamid, piridoksin veya piridoksol ve piridoksamin gibi vitamin kompozisyonlarının miktarı, dört çeşit örnek olarak kullanılan aşure, cevizli güllaç, kabak tatlısı, kadayıf dolması kullanılarak belirlendi.

Türk Gıda Veri Kompozisyonu Veri Tabanı'na göre; Ankara'dan temin edilen bir aşure içerisinde tiamin 0.030 mg/100g, riboflavin 0.019 mg/100g, niasin eşdeğerleri toplamı 1.632 mg/100g şeklindedir. Hamsiköy, Trabzon'a özgü bir güllaç tatlısında, tiamin 0.028 mg/100g, riboflavin 0.188 mg/100g, niasin eşdeğerleri toplamı 0.028 mg/100g şeklinde bulunmuştur. İstanbul'da bulunan bir güllaç örneğinde; tiamin 0.020 mg/100g, riboflavin 0.009 mg/100g, niasin eşdeğerleri toplamı 0.000 mg/100g şeklindedir [13].

Çatak ve Yaman (2019)'da yılında yaptıkları çalışmada, İstanbul, Türkiye'ye ait toplam 67 meyve ve sebzenin nikotinik asit ve nikotinamid içeriklerini post-kolon türevlendirme sistemi kullanılarak HPLC ile belirlemiştir. Bu çalışma gerek örnek kapsamı gerek analiz edilen vitamin türleri açısından yapılan en kapsamlı çalışmadır. Çalışmada kabak örneğinde nikotinik asit 0.741 mg/100g, nikotinamid 0.223 mg/100g, total B₃ vitamini miktarı 0.964 mg/100g şeklinde bulunmuştur [6].

Petteys ve Frank (2010)'da B₂ vitamini (riboflavin) HPLC ile plazmada florometrik yöntemle hızlı bir şekilde tespit edilmiştir. Bu çalışma da riboflavinin 7 dakika içinde ayrılmasını ve ölçülmesini sağlamıştır. Örnek olarak proteinler asit çöktürme ile plazmadan uzaklaştırılmıştır. Elde edilen süpernatantın bir örneği ters fazlı HPLC ile analiz edilmiştir [7].

Gliszczynska-Świągło ve Rybicka (2015)'da yaptıkları çalışma da, 13 farklı enerji içeceğinde kafein ve suda çözünen vitaminlerin miktarlarını 30 dk içerisinde yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC) yöntemini kullanarak fotodiyot dizisi ve floresan tespiti eş zamanlı olarak tespit etmişlerdir. Bu yöntemin, enerji içeceklerinde suda çözünen vitamin takviyeleri ve kafeinin, kantitatif analizinde faydalı olabileceğini göstermişlerdir [14].

Ekinci (2014)'da geleneksel bir Türk tahıl gıdası olan tarhanada bulunan suda çözünür vitaminlerin miktarının fermantasyon ve kurutma yöntemleri sırasında sıcaklığın ne derece önemli olduğunu incelemiştir. Çalışmanın sonucunda, iki yöntemde sıcaklığa bağlı olarak vitamin konsantrasyonları üzerinde önemli etkilere sahip olduğunu göstermiştir. Fermentasyonun, tarhananın suda çözünür vitamin içeriği üzerinde artan bir etkisi olduğu, kurutmanın ise azalan bir etkisi olduğu sonucuna varılmıştır [15].

Pandian ve Jayalakshmi (2019)'da Psidium guajava adlı bitkinin yapraklarında bulunan suda çözünür B vitamin miktarlarını belirlemiştir. Çalışmada, tiamin 0.213µg/g, riboflavin 0.325µg/g niasin 0.002µg/g, piridoksin 0.002µg/g olarak bulunmuştur. Bu çalışmanın amacı gelişmekte olan ülkelerde yaşayan ve B vitamini eksikliği yaşayan bireylere, yumurta, et, balık gibi B vitaminleri açısından zengin gıdalara ulaşamadıkları için, alternatif kaynak sunmaktır [16].

Yusufoğlu vd. (2019)'da yaptıkları çalışmada; bazı geleneksel gıdaların B vitaminleri kompozisyonlarının miktarını

analiz etmişlerdir. Çalışma da analiz edilen örnekler sırasıyla, mercimek köftesinde B₁ vitamini 299.20 µg/porsiyon, B₂ vitamini 364.32 µg/porsiyon yine mercimek köftesi, daha sonra B₃ vitamini için zeytinyağlı yaprak sarma 1030.4 µg/porsiyon ve son olarak B₆ vitaminin 281.0µg/porsiyon olarak lahmacunda analiz edilmiştir [17].

Bu çalışmada kullanılan dört farklı geleneksel tatlı türleri sırasıyla; aşure, cevizli güllaç, kabak tatlısı ve kadayıf dolma şeklindedir. Aşure; Türkiye'deki neredeyse tüm etnik, dini ve kültürel toplulukların mutfak geleneğinin paylaştığı kuru meyveler, fındık ve tahıllar gibi çok çeşitli malzemeler kullanılarak bir metafor olarak Nuh'un pudingi olarak adlandırılan lezzetli bir tatlıdır [18]. Aşure tatlısı; tahıl ve kurubaklagil, cevizli güllaç süt ve taze meyveler, kabak tatlısı, kabak ve bazı kuruyemişler ve son olarak kadayıf dolması hamur içeriğine sahiptir [1], [19]. Türk mutfağında yapılan tatlı çeşitlerinden enerji ve besin değerleri açısından sütlü tatlı çeşitleri tüketim açısından en dengeli olanlardır. Sütlü tatlı çeşitleri kalsiyum ve B₂ vitamininden zengindirler. Bu çalışmada sütlü tatlı örneği olarak cevizli güllaç kullanılmıştır. Protein, kalsiyum ve B vitaminleri açısından zengindir, ayrıca mevsiminde kullanılan ve herhangi bir işlem görmeyen meyveler kullanılması bakımından diğer tatlılara oranla sindirimi daha kolay ve sağlıklı bir tatlıdır. Aşure tatlısı bol miktarda tahıl, kurubaklagil ve meyve içermesi sebebiyle B vitamini gruplarına zengin bulundu. Kabak tatlısı, Orta Amerika'da doğduğuna inanılan yiyecek ve ilaç yapımında kullanılan kabak ile yapılır yumuşak ve tatlı olması, yüksek besin değerine sahip olması ve β-karoten, lutein ve zeaksantin gibi özellikle mükemmel bir karotenoid kaynağı olması açısından önemli bir besin kaynağıdır. En son olarak, Balkanlar, Türkiye ve Ortadoğu ülkelerinde on sekizinci yüzyıl Türk tatlılarının en lezzetli çeşidi kadayıf dolması gibi hamur tatlılarının enerji değerinin yüksek olduğu bulunmuştur [1], [20]. [21].

4. Sonuç

Gıdaların Gıdaların farklı bölgelerden temin edilerek analiz edilmesi ve bu şekilde gıda kompozisyonu tablolarının; miktar, kalite açısından genişletilmesi ve iyileştirilmesi gerekmektedir. Bu açıdan çalışmamız tiamin, riboflavin, nikotinik asit, nikotinamid, piridoksin veya piridoksol ve piridoksaminin geleneksel şeker içerikli gıdalarda var olan miktarlarını analiz ederek kamuoyuna kaynak sunmuştur. Çalışma ayrıca, beslenme uzmanları tarafından diyet hazırlanması, beslenme eğitimi, gıda güvenliği, gıda endüstrisindeki gıdaların etiketlenmesi, beslenme araştırması ve diğer araştırma amaçları içinde referans oluşturacaktır. Çalışmada kullanılan örneklerden aşure; çeşitli baklagillerin, kuru meyvelerin ve bazı yağlı tohumların kullanılarak hazırlanmasıyla oluşan hem B₁ vitamini hem de proteini oluşturan aminoasitler açısından diğer geleneksel tatlı türlerine göre daha yüksek düzeydedir. Bu sebeple beslenme uzmanları kontrollü tüketim koşuluyla oldukça sağlıklı bir tatlı alternatifi olarak sunabilirler. Çalışmamızda kullanılan bir diğer geleneksel tatlı türü olan kabak tatlısı analiz sonucunda B₂ vitamini açısından yüksektir. Bunun dışında kabak hem A, C ve K vitaminleri hem de Na⁺, K⁺, Ca⁺² ve Mg⁺² gibi mineraller açısından zengin olup yüksek miktarda su içermesinden dolayı şerbetli tatlılara göre kalorisi nispeten daha düşüktür. Çalışmada kullanılan bir diğer örnek olan kadayıf dolmasının B₃ ve B₆ vitamin düzeylerinin yüksek olması ceviz ve yumurta kullanımına bağlı olduğu öngörülmüştür. Son olarak kullanılan cevizli güllaç

örneği; B₁, B₂, B₃ ve B₆ vitaminleri açısından yüksek olmayıp protein ve Ca⁺² açısından Türk mutfağında bulunan oldukça zengin geleneksel bir tatlı alternatifini olarak karşımıza çıkmaktadır.

Kaynakça

- [1] Işın, M. (2013). Sherbet& Spice The Complete Story of Turkish Sweets and Desserts.2-11
- [2] Vasilopoulou, E., Dilis, V., & Trichopoulou, A. (2013). Nutrition claims: a potentially important tool for the endorsement of Greek Mediterranean traditional foods. *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*, 6(2), 105-111.
- [3] Ball, G. F. (2005). *Vitamins in foods: analysis, bioavailability, and stability*. CRC Press.
- [4] Busch, M., Göbert, A., Franke, S., Ott, U., Gerth, J., Müller, A., & Wolf, G. (2010). Vitamin B6 metabolism in chronic kidney disease–relation to transsulfuration, advanced glycation and cardiovascular disease. *Nephron Clinical Practice*, 114, c38-c46. doi: 10.1159/000245068.aynaklar
- [5] Booth, A. A., Khalifah, R. G., & Hudson, B. G. (1996). Thiamine pyrophosphate and pyridoxamine inhibit the formation of antigenic advanced glycation end-products: comparison with aminoguanidine. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 220, 113-119. doi: 10.1006/bbrc.1996.0366
- [6] Çatak, J., & Yaman, M. (2019). Research Article Determination of Nicotinic Acid and Nicotinamide Forms of Vitamin B3 (Niacin) in Fruits and Vegetables by HPLC Using Postcolumn Derivatization System.
- [7] Petteys, B. J., & Frank, E. L. (2011). Rapid determination of vitamin B2 (riboflavin) in plasma by HPLC. *Clinica Chimica Acta*, 412(1-2), 38-43.
- [8] Powers, H. J. (2003). Riboflavin (vitamin B-2) and health. *The American journal of clinical nutrition*, 77(6), 1352-1360.
- [9] Trichopoulou, A., Soukara, S., & Vasilopoulou, E. (2007). Traditional foods: a science and society perspective. *Trends in Food Science & Technology*, 18(8), 420-427.
- [10] Esteve, M. J., Farré, R., Frigola, A., García-Cantabella, J. M. 2001. Simultaneous determination of thiamin and riboflavin in mushrooms by liquid chromatography. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(3), 1450-1454.
- [11] Ndaw, S., Bergaentzle, M., Aoudé-Werner, D., Hasselmann, C. 2002. Enzymatic extraction procedure for the liquid chromatographic determination of niacin in foodstuffs. *Food Chemistry*, 78(1), 129-134.
- [12] Sampson DA, Eoff LA, Yan XL, Lorenz K. Analysis of free and glycosylated vitamin B6 in wheat by high-performance liquid chromatography. *Cereal Chemistry*; 1995, 72(2),217-220.
- [13]Ulusal Gıda Kompozisyon Veri Tabanı, <http://www.turkomp.gov.tr/main>, Erişim Tarihi:24.02.2020
- [14] Gliszczyniska-Swigho, A., Rybicka, I. (2015) Simultaneous determination of caffeine and water-soluble vitamins in energy drinks by HPLC with photodiode array and fluorescence detection. *Food analytical methods*, 8(1), 139-146
- [15] Ekinci, R. (2005). The effect of fermentation and drying on the water-soluble vitamin content of tarhana, a traditional Turkish cereal food. *Food chemistry*, 90(1-2), 127-132.
- [16] Pandian, R. S., & Jayalakshmi, M. (2019). HPLC analysis of water soluble vitamin B in leaves Psidium guava. *Asian Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 5(1), 69-72.
- [17] Yusufoglu, B., Dumanli, K., Yaman, M. & Karakuş, E. (2019). Dünyanın En İyi Varış Noktası Türk Mutfağına Biyokimyasal Bakış: Bazı Geleneksel Yemekler ve B Vitamini Kompozisyonları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 874-880.
- [18] Food and Culture History Society Communication di Giovanna Motta Volume secondo 2017 page 260 261
- [19] Stuart, M.E., All About Pumpkins, (October 2004). The University of Arizona
- [20] Song, J., Wang, X., Li, D., Meng, L., & Liu, C. (2017). Degradation of carotenoids in pumpkin (*Cucurbita maxima* L.) slices as influenced by microwave vacuum drying. *International Journal of Food Properties*, 20(7), 1479-1487.
- [21] Ertaş, Y.& Gezmen, M. (2013). Sağlıklı Beslenmede Türk Mutfak Kültürünün Yeri. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi* 2(1):117-136.



Otomotiv Sanayinde Hücresel Üretim Sisteminde Sac Parça Üretim Periyoduna Etki Eden Faktörler ve Üretim Zamanı Modellemesi

Yücel Can^{1*}

^{1*} Oyak Renault Ar-Ge Merkezi, Bursa, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-2086-2129), yucel.can@renault.com

(İlk Geliş Tarihi 29 Ekim 2020 ve Kabul Tarihi 12 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.818089)

ATIF/REFERENCE: Can, Y. (2021). Otomotiv Sanayinde Hücresel Üretim Sisteminde Sac Parça Üretim Periyoduna Etki Eden Faktörler ve Üretim Zamanı Modellemesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 247-260.

Öz

Bu çalışmada Oyak Renault otomotiv firmasında sac parça üreten pres atölyesinde hücresel üretim modellemesi ve buna bağlı olarak optimum çevrim periyodu analizleri yapılmıştır. Pres hattının üretim hücresi kabul edildiği bu çalışmada, toplam üretim zamanına etki eden faktörler incelenmiş ve üretim kriterlerini dikkate alan bir analitik model geliştirilmiştir. Çalışma neticesinde, çevrim periyoduna bağlı faktörlerden kalıp değişim, taşıma kabı yatırım, ürün stok alanı, hammadde, ayar parça ıskarta, üretim işçilik ve üretim hızına erişim maliyetleri toplam üretim maliyetini oluşturmaktadır. Modelleme, analiz ve toplanan verilerin işlenmesi sonucunda Toplam Çevrim periyoduna tesir eden en önemli faktörün kalıp değişim süresi, parça ıskarta miktarı, ham madde ve mamul stokları ile taşıma kabı yatırım maliyeti olduğu belirlenmiştir. Kalıp değişim zamanlarının toplam zamana oranının 2. dereceden polinom fonksiyonu şeklinde azaldığı, stok alanları ve taşıma kabı yatırım maliyetinin ise lineer olarak arttığı görülmüştür. Yapılan bu çalışmada yordamsal yaklaşımla 10 gün olarak uygulanan çevrim periyodu, çalışma sonrasında %40 azalarak optimum 6 gün olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Açık Zaman, Toplam Zaman, Üretim Periyodu, Hücresel Üretim Sistemi, Üretim Zamanı Modellemesi, Kalıp Değişim Süresi, Taşıma Kabı, Ürün Stok Alanı, Hammadde, Sac Stok, Maliyet.

Factors Affecting Sheet Metal Production with Cellular Production System and Manufacturing Time Modeling in Automotive Industry

Abstract

In this study, the stamping process and cycle times were analyzed in a stamping workshop that produces sheet metal parts in an automotive company. In this study that each press line has been considered as a production cell, factors affecting the production time were investigated and an analytical model has been developed that takes production criteria into account. As a result of the study, the factors about cycle period constitute the total production cost. These factors can be summarized as costs of product storage area, raw material, reject parts, production labor, reach the production speed and die change. As a result of the Cellular Production modeling, analysis and processing of the obtained data, it has been determined that the most important factors affecting the Total Cycle period is the die change time, the amount of reject parts, raw material, product storage and product container investment cost. It was observed that the ratio of die change times to total time decreased as a quadratic polynomial function, while the storage areas and product container investment cost increased linearly. In this study, the cycle period applied as 10 days with the procedural approach decreased to 40% after the study and was calculated to be 6 days as the optimum period.

Keywords: Open Time, Total Time, Production Period, Cellular Production System, Production Time Modelling, Die Change Time, Parts Container, Stockage Surface, Row Material, Sheet Metal Stock, Cost

* Sorumlu Yazar: yucel.can@renault.com

1. Giriş

Üretim, "Yeni bir fiziksel varlık veya hizmet ile sonuçlanan, bir fayda meydana getirmek amacı ile yapılan faaliyetlerin bütünü" şeklinde tanımlanmaktadır. Fiziksel anlamda bir fayda meydana getirmek için yapılan çalışmalar yerine konuyu fiziksel üretim kavramıyla özelleştirmek yerinde olacaktır. Üretim sistemlerinin sınıflandırılması, sosyal-ekonomik kavramları sınıflandırma zorluğu nedeni ile sadece bir saptama olarak tanımlanmasından öte gidemez. Bu nedenle üretim sistemleri, üretim yöntemlerine göre birincil üretim (hammadde üretimi), Analitik üretim (hammadde analizi), Sentetik Üretim (hammadde sentezi), Fabrikasyon Üretimi (şekil verme), Montaj Üretimi (bir araya getirmek) şeklinde tanımlanabilir. Ürün cinslerine göre sınıflandırma yaparak da üretim sınıflandırılabilir. Bunlar; demir-çelik üretimi, elektriksel teçhizat üretimi, elektronik mamul üretimi şeklindedir. Üretim miktar veya akışına göre bir sınıflandırma yapmak da önemlidir. Bunlar, siparişe göre üretim (miktarı sınırlı, spesifik mamul), parti üretimi (partiler halinde) ve sürekli üretim (çeşit yok, miktar yüksek) olan kitle ve akış üretimidir [1, 2].

Yukarıda açıklaması yapılan parti üretimi ve sürekli üretim için daha belirleyici olmak üzere, kesikli üretim ve sürekli üretim tipleri demek daha doğru olacaktır. Üretim sistemlerinin bu kapsamı, fiziksel üretimi teşkil eden ürünün, çeşitli şekillerde üretimini gündeme getirmektedir. Fabrika veya atölye tabir edilen üretimin yapıldığı yerin yerleşimine göre de bu sınıflamayı yapmak mümkündür. Bir fabrika ya da atölyede üretim yapan araçlar (tezgâhlar, makineler vb.) çeşitli konumlarda bulunabilir. Eğer tezgâhlar belli bir sürece göre yerleşmiş ise aynı amaçlı tezgâh veya makineler aynı bölümde yerleşerek süreci gerçekleştirilir. Bu, geleneksel üretim sistemi içerisinde yer alan, çok kullanılan bir üretim sistemidir. Pahalı bir üretim sistemi olan sürece göre üretim, aynı tür tezgâhları aynı alanda kullanarak âtil kapasite oluşturabilir. Genellikle siparişe göre üretim, miktarları az parti üretimi için kullanılır. Geleneksel üretim sistemi olan bu sistemin âtil kapasite yaratılması gibi sakıncaları vardır.

Üretilen mamulün miktarı ile üretim faaliyetlerinin fabrika içindeki hareketi arasında yakın bir ilişki vardır. Aynı cinsten bir mamulün az veya çok sayıda üretilmesi; kullanılan makinelerin tiplerini, imalat yöntemlerini, standartları, insan gücünden yararlanma biçimini, fabrikanın yerleşim düzenini, üretim planlama ve kontrol yöntemlerini etkiler. Bütün bunlar hammaddenin mamul hale gelinceye kadar izlediği yolu, yani akışı da belirler [3]. Bu tip üretim sistemlerinde belirli bir siparişi ya da sürekli bir üretimi karşılamak için benzer veya aynı cinsten ürünler kafiye halinde diğer ürün kafiyelerinin üretiminin tamamlanmasını takip eder. Atölye tipi üretimde olduğu gibi, yardımcı aletlerin ve iş metotlarının geliştirilmesi, kafiye büyüklüğüne bağlıdır [4]. Eğer kafiye bir defaya mahsus olmak üzere üretilcekse, üretimin etkinliğini artırıcı araştırma ve geliştirme çalışmalarının maliyeti karşılanamayabilir. Kafiye tipi üretimde, üretim planlama ve kontrolü atölye tipi üretime nispeten daha kolaydır. Bununla beraber, aşağıdaki durumlara göre kafiye tipi üretimin kendi içinde üretim planlama ve kontrolü zorlaşabilir veya kolaylaşabilir: a) Kafiye bir defaya mahsus olmak üzere üretilmesi b) Kafiye düzenli aralıklarla ihtiyaç olduğu zaman üretilmesi c) Kafiye sürekli talebi karşılamak için bilinen zaman aralıklarında üretilmesi.

Kitle tipi üretimde kafiye büyüklüğü ve ürün kafiyelerinin tekrarı arttıkça, üretim planlama ve kontrol sistemi geliştirme ve

uygulama faaliyetleri kolaylaşır [5]. Kafiye büyüklükleri ve kafiye tekrarları arttıkça, kazanılan deneyim, üretimin planlaması, planın uygulanması ve kontrolündeki en önemli zorluklardan biri olan belirsizliği azaltır. Pres, döküm, torna gibi tezgâh işlerinde, çeşitli cam ve kimyasal ürünlerin üretiminde çok rastlanılan kafiye tipi üretim, endüstrinin çok yaygın bir üretim tipidir.

Günümüzün yüksek rekabet koşulları altındaki üretim ortamı, daha etkili üretim sistemleri geliştirilmesi için yoğun olarak bilimsel çalışmalar yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Bu sistemler arasında hücresel üretim yöntemi sayılabilir. Hücresel üretim yöntemi diğer üretim yöntemlerinin getirdiği temel problemleri ortadan kaldırması ve yüksek verimlilik getirmesi nedeniyle tercih edilmektedir. Hücresel üretim temel olarak aynı parça ailelerinin tanımlanmasını ve ilgili üretim makinelerinin bir araya getirilmesiyle oluşturulan hücreleri kapsamaktadır [6, 7]. Makine hücre yapısı, makine-parça matrisi ile organize edilmektedir. Makine-parça matrisi makine hücresi algoritmalarının yapılandırılmasında girdi olarak kullanılmaktadır. Böylece makine-parça gruplarını tanımlayarak hücresel üretim sisteminin geliştirilmesine imkân oluşturulur [8]. Makine hücrelerinin oluşturulmasında birçok yöntem mevcuttur. Bunların arasında çok sayıda makine-parça gruplandırma algoritması sayılabilir. Örneğin, yapılan bu çalışmada makine hücrelerine parça ataması oluşturulan benzerlik matrisi ile (Çizelge 3 ve çizelge 4) düzenlenebilir.

Hücresel üretim yöntemi kullanıldığında gruplandırma mantığı ile hareket edildiği için bir parçanın üretim süresi kısalmakta ve üretim sayıları artmaktadır. Başka bir ifadeyle üretim verimliliği yükselmektedir. Bunun bir sonucu olarak da süreç içerisinde tutulması gereken stok miktarı düşmektedir [7, 9]. Hücresel üretimin bazı dezavantajları olduğu bilinmektedir. Bu dezavantajların başında rotalama esnekliği, talep değişkenliği, kapasite kullanımı gelmektedir [8]. Özellikle standart olmayan ürünlerin üretiminde bu dezavantajlar ortaya çıkmaktadır. Ancak bu çalışma konusu olan sac parça üretiminde kullanılan ana makineler preslerdir. Bu preslerin bir akış mantığı ile hücresel bir yapıda gerçekleştirilmesiyle hatlar oluşturulmaktadır. Pres makinelerinin büyük boyutlu ve yerleşim bölgesinde istenen özel alt yapı nedeniyle, yerlerinin değiştirilmesi gibi bir durum söz konusu kolay kolay olmamaktadır. Tüm bunlardan dolayı, hücresel üretim sisteminin dezavantajlarının sac parça üretim prosesi için geçerli olmayacağı görülmüştür [10]. Bu şekilde benzer parçaların ve makinelerin gruplandırılarak üretildiği bir sistem kurulmuş olması nedeniyle, çok hızlı bir şekilde deneyim kazanılmakta, malzeme taşıma mesafeleri kısalmakta, taşınan üretim yığın miktarı azalmakta, ürün değiştirme süreleri düşmekte, akış dengelenmekte ve üretim kontrolü basitleştirilmektedir [11]. Kazanılan bu avantajlar ile üretim çevrim periyodunun ürüne ve işletmeye bağlı olarak %40-%90 arasında azaldığı görülmüştür. Ayrıca ürün kalitesinin de %31 oranında iyileştiği tespit edilmiştir [12].

Hücresel üretime geçişte karşılaşılan güçlüklerin başında makinelerin konumlarının daha önceden belirlenmiş olması, ilave personel eğitim ihtiyaçları, idari ve mali sınırlamalar, atölye üretim planlaması güçlüğü, değişime karşı direnç ve devam eden yüksek yoğunlukta makine kullanımı gelmektedir. Bu konulara dönük araştırmalar devam etmektedir ancak bu güçlükler derecelendirme ve analitik modellerin içerisine dahil edilmesindeki zorluklar nedeniyle hariç tutulmaktadır [11].

Bu çalışmada Oyak Renault otomotiv firmasında sac parça üretimi yapan pres atölyesinde hücresel üretim yöntemi ile üretim çevrim periyodu modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Üretim

zamanına etki eden faktörler incelenmiş ve sınıflandırılmıştır. Yapılan modelleme çalışmasında analitik bir yaklaşım kullanılmış ve modellemenin sonuçları irdelenmiştir.

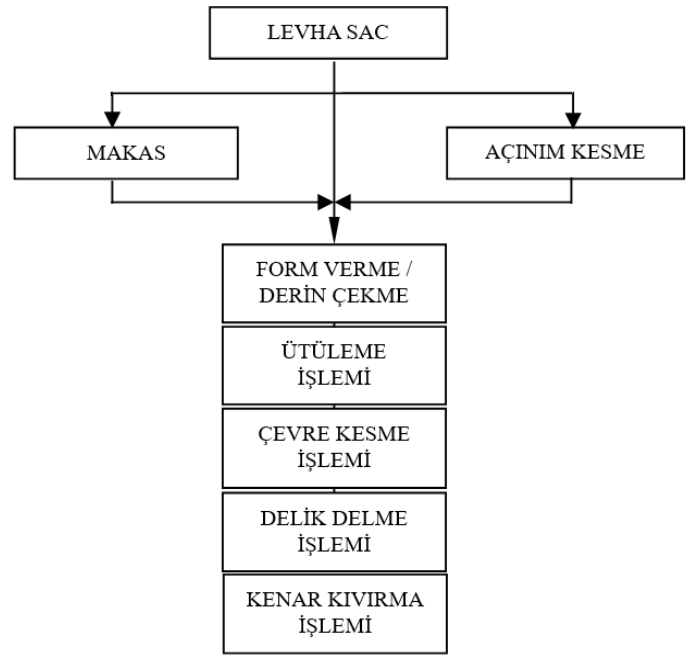
2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, Oyak Renault otomotiv fabrikasında analizin yapıldığı zaman aralığında üretilmekte olan 4 tip araba üretimi izlenmiştir. TİP A arabasından 100 adet/gün, TİP B arabasından 90 adet/gün, TİP C arabasından 125 adet/gün ve TİP D arabasından da 100 adet/gün üretim olmak üzere toplam 415 adet/gün araba için üretilen toplam 163 referans parça üzerinden pres hatlarındaki üretim analizi gerçekleştirilmiştir.

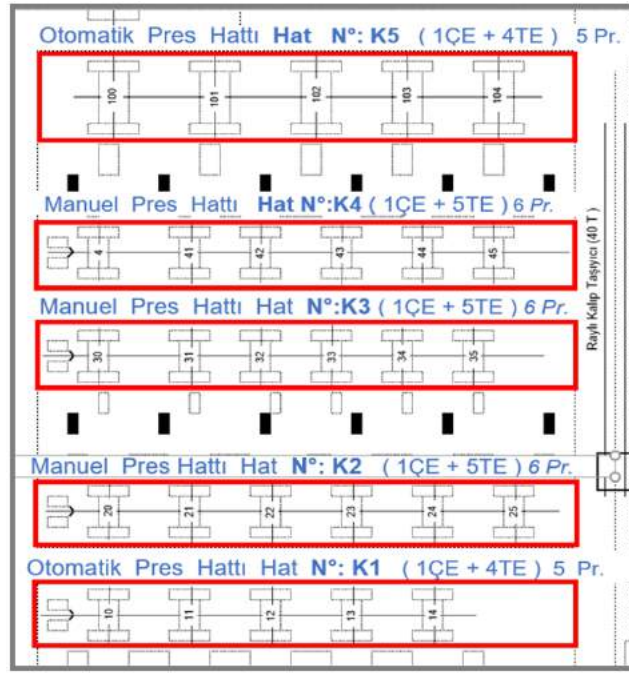
Söz konusu arabaların sac parçaları, arabanın dış görünümünü oluşturan yüzey parçaları (ön kaput, arka kaput, tavan ve kapı dış sacları), iç yüzey parçalarından (ön kaput astarı, arka kaput astarı, kapı astarı ya da şasiyi oluşturan parçalar) oluşmaktadır. Üretilen parçaların geometrilerine bağlı olarak farklı işlem adımlarının ardışık uygulanmasıyla sac levhadan üretilmektedir. Bu işlemler parçanın geometrisine ve kalıp konstrüksiyonuna göre değişmekle birlikte, bir parçanın üretiminde gerçekleştirilen operasyonlar, genel olarak açınım kesme, derin çekme /form verme, ütüleme, çevre kesme, kenar kıvrırma, boşaltma / delik delme işlemlerinden oluşmaktadır. Şekil 1'de işlemler uygulama sırasına bağlı olarak gösterilmektedir.

Plastik şekillendirme işleminde genel olarak kullanılan sac kaliteleri, parçanın kullanıldığı yere ve parçadan beklenen özelliğe göre (Dış yüzey görünümü, mukavemet) çeşitlilik göstermektedir. Yüzey durumuna göre, dış yüzey ya da iç yüzey sacları şeklinde iki türdür. Çekme dayanımına göre alaşımsız saclar, ekstra derin çekme (140-160 N/mm²), derin çekme (160-220 N/mm²) ve ticari kalite saclar şeklinde tanımlanmaktadır. Çekme dayanımına göre alaşımlı saclar; Yüksek mukavemetli (360-450 N/mm²) ve Çok yüksek mukavemetli (750-100-1500 N/mm²) saclar olarak sınıflandırılmaktadır. Parçanın özelliği ve parçadan beklenen şartlara göre, mühendislik servisi tarafından standardize edilmiş sac kaliteleri tanımlanmaktadır. Üretimde her bir parça için standart olarak belirlenmiş sac kalite ve ebatları kullanılmaktadır.

Presleme üretimi; pres kalıplarının ardışık olarak hat şeklinde konumlandırılmış olarak preslere montaj edilerek yapılmaktadır. Üretim akışı, parçanın tasarımına bağlı olarak, Şekil 1'de gibi levha sac, makas, açınım kesme ya da direkt form verme işlemi uygulanan parçalar olarak 3 ayrı şekilde gruplandırılabilir. Ölçümlerin yapıldığı pres atölyesi 5 pres hattından oluşmaktadır. Teknik özelliklerine göre gruplandırılmış 5 hattan oluşan Pres Atölyesi yerleşim planı Şekil 2'de gösterilmiştir. Üretimi yapılan parçalar üretilmekte olan araba tiplerinden bağımsız olarak parça teknik özelliklerine göre aşağıda değinilen benzerlik matrisi kriterlerine göre hatlara parça ataması yapılmaktadır. Şekil 3'te çalışmanın yapıldığı pres atölyesi ve üretilen arabaların (otomobillerin) sac parçalarından örnekler sunulmuştur. Yapılan çalışma; 1- Parçaların hücrelere atanması 2 - Çevrim periyodu optimizasyonu olarak iki ana başlıkta değerlendirilmiştir.



Şekil 1. Genel Olarak Presleme Üretim Prosesi Akış Şeması



Şekil 2. Ölçümlerin Yapıldığı Pres Atölyesi Pres Hatları Yerleşim Planı (ÇE: Çift Etkili Pres, TE: Tek Etkili Pres)



Şekil 3. Ölçümlerin Yapıldığı Pres Atölyesinden ve Üretilen Parçalardan Örnek Görüntüleri: a) Pres Hattı, b) Parça Çıkış Bölgesi ve Stoklama Bölgesi, c) Pres Kalıbı d) Taşıma Kapları e) Üretilen Sac Parçalar

2.1 Hürelere Parça Atanması

Hürelere parça atama işlemi için tasarlanan Excel programının, işlem adımları aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur.

Üretim çevrim periyodu modelleme çalışması kapsamında ölçümlerin yapıldığı pres atölyesinde, pres hattı (Şekil 3a), pres hat sonu üretilmiş parça çıkış bölgesi ve pres hat sonunda taşıma kaplarına parça dizme (stoklama) bölgesi (Şekil 3b), manuel pres hattı masasına yüklenmiş sac paket ve hat başı presine montajı yapılmış pres kalıbı (Şekil 3c), üretilmiş parçaların stoklanmasını ve ambara sevk edilmesini sağlayan taşıma kapları (Şekil 3d) ve pres hattında üretilen örnek sac parçaları (Şekil 3e) fotoğrafları Şekil 3'te verilmiştir.

Adım 1: Sabit değerlerin girilmesi (parça birim üretim süreleri ve ortalama direkt & endirekt kayıpların girilmesi)

Standart parça birim üretim süreleri zaman ölçümü ile belirlenmektedir. Diğer kayıplar, her bir makine ve hücre grubu için üretim kayıtlarından alınmıştır. Bu kayıtlar, Oyak Renault üretim sistemini izlemek üzere oluşturulmuş SMP99 (Renault Üretim İzleme Sistemi) adı verilen bir bilgisayar programı kullanılarak, hat sorumlusu tarafından ilgili duruş kodu ile kayıt altına alınmaktadır. Makinenin açık zamanı içerisinde üretim, her bir pres hattı ve parça için kalıp değişimi, kalıp arıza, pres arıza, otomasyon arıza, sac bekleme, personel yokluğu vb. gibi gerçekleşmiş üretim verilerinden alınmıştır. Bu veriler Çizelge 1 ve 2'de belirtilmiştir.

Çizelge 1: Pres Hatlarına Göre Direkt & Endirekt Kayıplar (Arıza süresi / Açık Zaman)

		K1	K2	K3	K4	K5	Makas Arıza
Pres arıza	(%)	3.0	0.3	0.75	0.2	5	1.25
Kalıp arıza	(%)	8.5	0.6	8	1.5	6	-
Otomasyon arıza	(%)	23	-	-	-	5	-
Pres koruyucu bakım	(%)	1.7	1.6	1.7	1.7	1.4	0.5
Kalıp bakım ve hat parça adaptasyonu	(%)	4.25	1.75	4.25	2.25	7	-
Otomasyon koruyucu bakım ve parça adaptasyonu	(%)	7	-	-	-	7.25	-

Çizelge 2: İlk 10 Parçanın Araba Tipi –Standart Makine Birim Zamanları ve Taşıma Kabı Tanımları

	PARÇA NO	Tip A		Tip B		Tip C		Tip D		Taşıma Kabı		Birim Makine Zamanları (dk / parça)															
		R A1	R A2	R B1	R B2	R C1	R C2	R D1	R D2	TAŞIMA KABİ TİPİ	TAŞIMA KABİ KAPASİTESİ	ÜRETİM GRUP N°	ORTAK KODU	MONTAJ ORTAKLIK KODU	ÜRETİM	TOPLAM ÜRETİM	110	120	130	140	150	160	AÇINIM	K. PRES	M1		
1	Parça-1			1	1					1700	300	101		1	616	616	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15						0.12
2	Parça-2			1	1					1700	300	102		1	616	616	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15						0.12
3	Parça-3			1						ÖZL 1750	110	103		1	137	137	0.16	0.16	0.16	0.16							
4	Parça-4			1	1					ÖZL 1756-A	71	104		1	616	616	0.19	0.19	0.19	0.19							
5	Parça-5			1	1					ÖZL 1753	48	105		1	616	616	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17		0.15	0.17			
6	Parça-6			1	1					ÖZL 1753	48	106		1	616	616	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17		0.15	0.17			
7	Parça-7			1	1					1700	120	107		1	616	616		0.13	0.13	0.13	0.13	0.13					
8	Parça-8	1								620320	100	201		1	660	660	0.17	0.17	0.17	0.17							
9	Parça-9	1								1700	250	202	202	1	660	660		0.20	0.20	0.20	0.20	0.20					0.08
10	Parça-10	1								1700	250	202	202	0	660	660		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					0.08

Adım 2: parça ağırlıklarının (önemleri) belirlenmesi

Parça ağırlığı (önemleri) w_i^p ise aşağıdaki denklem 1 ve denklem 2 ile elde edilmektedir.

$$k_{pik} = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^p \frac{n_{pik}}{t_{ik}} \quad (1)$$

$$w_i^p = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^p Y_{dik} \cdot IS_{ik} \cdot t_{ik}}{k_{pik}} \quad (2)$$

Yukarıda verilen denklem 1 ile i'nci parçanın k'nci hücredeki personel katsayısı k_{pik} , i'nci parçanın k'nci hücredeki toplam üretim makine zamanı t_{ik} (saat) ve i'nci parçanın k'nci hücredeki personel sayısı n_{pik} kullanılarak hesaplanmaktadır. Denklem 2 ile hatlara (hücre) parça atama işleminde parça önemi (ağırlığı) w_i^p , i'nci parçanın k'nci hücredeki yüzey durumu katsayısı Y_{dik} , i'nci parçanın k'nci hücredeki işlem sayısı IS_{ik} , i'nci parçanın k'nci hücredeki personel katsayısı k_{pik} kullanılarak hesaplanmaktadır.

Adım 3: Parçaların hücrelere atanması

Üretimde analizi yapılan 163 referans parçanın, üretim hücrelerine (hatlarına) atamaları benzerlik matrisi ile Çizelge 3'te belirlenen kriterler doğrultusunda hazırlanan Visual Basic

makrosu ile yapılmıştır. Parçaların hücrelere atanması aşamasında 5 tip kısıt kullanılmıştır. 1) Pres teknik özellikleri için presleme kuvveti (kN) ve pres tabla boyutları 2) Kalıp teknik özellikleri için Tijli kalıp, ortak tablalı kalıp ve kalıp genişlikleri 3) Parça özellikleri için parçanın yüzey durumu ve işlem sayısı (operasyon sayısı) 4) Otomasyon özellikleri için derin çekme işlemi, tijsiz parça olma, yatay döndürme, otomasyon sistemine adapte olabilmeye 5) Hat yükü için hattın yüklenme oranı (Üretim hatlarında üretim çevrim periyodundan daha fazla bir yüklenme yapılmaması ve kalıp, pres, otomasyon işlemleri için periyodik bakım ve adaptasyonların belirlenmesi için hat yükü ile bir sınırlandırma yapılmaktadır.)

Yukarıda açıklanan işlem adımlarına göre hesaplamalar gerçekleştirilmektedir. Kurulan modelin Visual Basic ile Excel programında oluşturulan makroların işletilmesi ile parçaların hücrelere atama işlemi sonuçları detaylı olarak çizelgeler halinde çıkarılmıştır. Çizelge 4'te örnek olarak ilk 10 parçanın hat (hücre) atamaları verilmektedir.

2.2 Üretim Çevrim Periyodu Optimizasyonu

Genel olarak parça çeşidinin fazla olduğu sektörlerde (otomotiv sanayi, beyaz eşya vb.) sac parça üretimleri, montaj bantlarını belli bir süre besleyecek şekilde (1, 2, 3 gün) kafiye tipi

üretim olarak gerçekleştirilmektedir. Bu üretim periyoduna, çevrim periyodu denir. Çevrim periyodu kavramı her işletmede,

Çizelge 3: Parçaların Hücrelere Atanmasında Teknik Kısıtlara Göre Oluşturulan Parça Atama Matrisi

		Hücre N°					
		K1	K2	K3	K4	K5	
Hat (Hücre) Pres Sayısı		6	6	6	4	5	
PRES TEKNİK ÖZELLİKLERİ	Presleme Kapasitesi	Çift etkili pres (ton)	450	450	500	500	1200
		Tek etkili pres (ton)	320	320	400	400	800
	Pres Tabla Genişliği	Çift etkili pres (mm)	2500	2500	2500	2500	4000
		Tek etkili pres (mm)	2700	2700	2700	2700	4000
KALIP TEKNİK ÖZELLİKLERİ	Kalıp genişliği kısıtı (KG _{ce} , mm)	≤ 2500	≤ 2500	≤ 2500	≤ 2500	2200≤kg≤4000	
	Kalıp genişliği kısıtı (KG _{te} , mm)	≤ 2700	≤ 2700	≤ 2700	≤ 2700	2200≤kg≤4000	
	Tij kullanılan kalıplar (TIJ)	-	1	-	-	-	
PARÇA ÖZELLİKLERİ	Yüzey durum kısıtı (Yd)	Yd = 0,75	Yd = 0,75	Yd = 0,75	Yd > 0	Yd > 0	
	İşlem sayısı kısıtı (İS)	IS = 4	IS > 0	IS = 5	IS = 4	IS = 4	
	Parça presleme kuvveti kısıtı (Çift tesirli pres) (F _{ce} , ton)	0 < F _{ce} ≤ 450	F _{ce} ≤ 450	250 < F _{ce} ≤ 500	0 < F _{ce} ≤ 500	350 < F _{ce} ≤ 1200	
	Parça presleme kuvveti kısıtı (Tek tesirli pres) (F _{te} , ton)	F _{te} ≤ 320	F _{te} ≤ 320	F _{te} ≤ 400	F _{te} ≤ 400	250 ≤ F _{te} ≤ 800	
OTOMASYON KISITI	Derin çekme işlemi kısıtı (DÇ)	1	-	-	-	1	
	Yatay döndürme kısıtı (YD)	1	-	-	-	1	
	Oto. kolu adaptasyon kısıtı (OK)	1	-	-	-	1	
	Tij kullanılmayan kalıp (TIJ)	1	-	-	-	1	
	Ortak tabla kalıp kısıtı (OT)	1	-	-	-	1	
	İkiye ayrılmayan parça (IA)	1	-	-	-	1	
HAT YÜKÜ KISITI	Hat yükü kısıtı (%H _y)	H _y ≤ 79	H _y ≤ 101	H _y ≤ 90	H _y ≤ 99	H _y ≤ 73	

Çizelge 4: Parçaların Hatlara (Hücrelere) Atama Sonuçları

		Otomasyon Şartı							Parça Atama Kriterleri							
PARÇA NO	Ortak tablalı kalıp (OT)	Otomas. kolu adaptas. (OK)	Ayrılmayan parça (IA)	Yatay döndürme yok (YD)	Derin çekme (DÇ)	Tijsiz parçalar (TIJ)	OTOMASYON KATSAYISI (OŞ)	Yüzey durumu (Yd)	Operasyon adedi (IS)	Kalıp genişliği (mm - Form)	Kalıp genişliği (mm-Diğer)	Pres. Kuv. (F _{ce} -ton)	Presleme Kuv. (F _{te} -ton)	PARÇA KATSAYISI HESABI	PARÇA KATSAYISI (W _p)	SEÇİLEN HAT
1	Parça-1		1	1	1		0	0.5	5	2450	2700	310	264	0.29	0.238	K2
2	Parça-2		1	1	1		0	0.5	5	2450	2700	310	264	0.29	0.238	K2
3	Parça-3		1	1	1	1	0	1	4	2180	2700	305	259	0.43	0.358	K4
4	Parça-4	1	1	1	1	1	1	1	4	2180	2680	370	315	0.57	0.470	K1
5	Parça-5		1	1	1	1	0	1	5	2180	2360	305	259	0.95	0.790	K3
6	Parça-6		1	1	1	1	0	1	5	2180	2360	305	259	0.95	0.790	K3
7	Parça-7			1			0	0.5	5		2500		259	0.22	0.184	K2
8	Parça-8	1	1	1		1	0	0.75	4	2170	2230	305	259	0.34	0.285	K4
9	Parça-9				1		0	0.5	5		2660		190	0.45	0.374	K2
10	Parça-10				1		0	0.5	5		2660		190	0.45	0.374	K2

işletmenin üretim miktarına, makine ve ekipman kapasitesine, mamul stok alanına, hammadde / yarı mamul ikmaline, üretim hazırlık sürelerine ve işletmenin hedeflerine bağlı olarak farklı şekillerde uygulanmaktadır. Üretim çevrim periyodu tespit edilirken üretim sürecinde oluşan kayıplar, üretimde oluşan kayıplar ve üretim dışı oluşan kayıplar olarak iki ana başlık altında gruplandırılmıştır. Bu gruplama, Renault üretim sistemlerinde kullanılan üretim performans hesaplama normu "E41.50.505.R" ile belirlenmiştir [13].

Üretim Çevrim Periyoduna Etki Eden Üretim Dışı Faktörler

Üretim çevrim periyoduna dolaylı etki eden faktörlerdir. Getirdikleri kısıtlar ile üretim periyoduna çıktısı zaman olan bir etki oluşturmaktadır. Otomobil sac parça üretiminde karşılaşılan üretim dışı faktörlerin başında hammadde ve ürün stoklama alanı ve mamulün fiziki durumu (iç yüzey ya da dış yüzey parçası olma

durumuna bağlı olarak) taşıma kabı ebatları ve taşıma kabı sayısı gelmektedir Kafiye tipi üretimde, çevrim periyoduna bağlı olarak üretilen mamul miktarı da değişkenlik gösterecektir. Dolayısıyla,

çevrim süresi arttıkça mamul miktarı artacağından, stoklama alanı ihtiyacı ve taşıma kabı sayısı da artma eğiliminde olacaktır. Üretilen mamullerin ambarda stoklanması yapılırken,

Çizelge 5. Üretim Açık Zamanı Bileşenleri

TOPLAM ZAMAN (Açık Zaman)			
ÜRETİMDE KULLANILAN ZAMAN			ÜRETİM DIŞI ZAMANLAR
GERÇEK ÜRETİM ZAMANI	DİREKT DURUŞLAR	ENDİREKT DURUŞLAR	ENDİREKT DURUŞLAR
	<ul style="list-style-type: none"> * Montaj * Kalıp arıza * Otomasyon arıza 	<ul style="list-style-type: none"> * Enerji yokluğu 	<ul style="list-style-type: none"> * Planlı bakım (Kalıp) * Planlı bakım (Pres) * Otomasyon ekipmanları bakımı * Yeni ürün devreye alma

mamulün tasarımına uygun taşıma kapları kullanılmaktadır. Çevrim süresine bağlı olarak, üretilen mamul miktarını karşılayacak şekilde taşıma kabına ihtiyaç vardır. Diğer bir deyişle, taşıma kabı miktarı çevrim periyodunun fonksiyonudur. Çevrim periyodu arttıkça, üretilen parça miktarı da artacağından, bu üretim miktarını karşılayacak olan taşıma kabı miktarı da artmaktadır. Bu çıkarımın tersi de doğrudur.

Hammadde temin süreleri ve hammadde parti büyüklükleri de çevrim periyoduna etki etmektedir. Hammaddenin temin süresinin uzun olduğu durumlarda, çevrim periyodunu düşürmenin işletmeye olumlu yönde büyük bir katkısı olmayacaktır. Bunun tersi olasılıkta da çevrim periyodunu kısaltarak en az maliyet ile üretim çevrim periyodu oluşturulabilir.

Üretim Çevrim Periyoduna Etki Eden Üretime Bağlı Faktörler

Üretim sürecinde, üretimin gerçekleştirilmesi için üretim zamanı ile hazırlık zamanları, arızalar, koruyucu bakım zamanları, çalışılmayan zamanlar gibi kayıp zamanlar oluşmaktadır. Söz konusu bu üretim zamanına direkt etki eden faktörler Çizelge 5'te gösterilmiştir. Toplam üretim zamanı (Açık zaman) üretimde kullanılan zaman ve üretim dışı zamanlar şeklinde iki ana bileşenden oluşmaktadır.

Üretimde kullanılan zamanlar

Üretimde kullanılan zamanlar, üretimin gerçekleştirilmesi için gerekli olan montaj, ayar, arızalar ve salt üretim zamanlarından oluşmaktadır. Üretim kayıplarının sistematik bir şekilde tutulması için üretim bileşenlerine belirli kodlar verilmektedir. Üretimde kullanılan zamanların anlaşılması için bazı kavramların açıklanması gerekmektedir.

Gerçek Üretim Süresi: Makinenin, arızalar ve diğer faaliyetler dışında, sadece mamul üretiminin yapıldığı zaman dilimidir.

Direkt Duruşlar: Üretim sürecinde gerçekleştirilen montaj ve ayar çalışmaları ile üretim sürecinde oluşan arızalardan oluşmaktadır.

a) Montaj: Üretim öncesi kalıpların preslere montaj ve ayar zamanını kapsamaktadır. Uygulamada, üretim hattından sökülen kalıpların en son üretilen parçası ile bir sonraki bağlanan kalıplardan üretilen ilk parçası arasında geçen zaman dilimidir. Üretim hazırlık zamanı olarak da tanımlanmaktadır. Kalıpların

preslere montajı, ayarlanması ve kalıpların sökülmesi süreleri olarak tanımlanabilir.

Çevrim süresi azaldıkça, aynı miktarda mamul üretmek için, çevrim tekrar sayısı artacağından kalıp değişim adedi de artma eğilimi gösterecektir. Dolayısıyla kalıp değişim işçiliği maliyetinin aynı oranda artış göstereceği açıktır. Bu da üretime dönüşmeyen bir işlem olduğundan, işçilik maliyetini direkt olarak arttırmaktadır.

b) Arızalar: Üretim sürecinde beklenmeyen, üretimin durmasına veya aksamasına sebebiyet veren arızalardır. Bu arızalar, kaynağına veya oluşum sebebine göre; Pres Arıza, Kalıp arıza, Otomasyon arıza olarak tanımlanmıştır.

Endirekt Duruşlar: Üretim sürecinde planlanmış ya da planlanmamış enerji kesintisi ve üretim için gerekli tüm unsurlar olmasına rağmen iş gören eksikliği, ya da planlı bakım ve yeni parça devreye alma çalışmaları nedeniyle üretim yapılamayan zaman dilimidir.

2.3. Üretim Çevrim Periyodunun Matematiksel Modellemesi

Toplam zaman (Açık zaman):

Makinenin, üretim faaliyetlerinde kullanılabileceği maksimum zaman olarak tanımlanır. Çizelge 5'de verilen Toplam açık zaman, işletme içinde yapılan hesaplamalara göre, günlük çevrim süresi, aylık, yıllık üretim süreleri esas alınarak Denklem 3 ile hesaplanmaktadır.

$$T_{az} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p (T_p + T_{pa} + T_{ka} + T_{oa} + T_{oa}) + T_{id} + T_{ü} \quad (3)$$

Bu ifadede T_{az} toplam zaman (açık zaman) olup birimi saat olarak alınmaktadır. İfadedeki diğer terimler; T_p parça üretim süresini, T_{pa} pres arıza süresini, T_{ka} kalıp arıza süresini, T_{oa} otomasyon arıza süresini, T_m kalıp montaj ve üretim hazırlık süresini, T_{id} üretim içi endirekt kayıp süreyi, $T_{ü}$ üretim dışı zamanları tanımlamaktadır.

Örneğin bir vardiya olarak 7.5 (h/gün) çalışan bir işletmede makine açık zamanı 7.5 (h/gün), 3 vardiya olarak 7.5 (h / gün) çalışan bir işletmede makine açık zamanı $3 \times 7.5 = 22.5$ (h / gün) dür. Toplam zaman aşağıdaki gibi hesaplanır. Bir vardiyada geçen toplam süreye yemek ve dinleme molaları gibi süreler dahil

edilmeyerek makinelerin üretime açık zamanları (Açık zaman) tespit edilmektedir ve örneğin 8 saatlik bir vardiyanın açık zamanı 7,5 saat olarak kabul edilmektedir.

Üretim planlamaları yapılırken iş gören yokluğu ve iş yokluğu nedeniyle çalışma yapılamaması söz konusu olamaz. Bu durum, üretim planlamasına dahil edilmemesine karşılık, pratikte karşılaşılabilecek bir durumdur.

Parça Üretim Süresi:

Her bir parçanın standart makine zamanları, zaman etüdü yöntemleri ile belirlenmiştir. Çevrim standart parça üretim süresi etki eden parametreler göz önüne alındığında aşağıdaki gibi modellenir:

$$T_p = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p \frac{M_p \cdot t_{ij} \cdot a_{jk}}{c_k} \quad (\text{dk}) \quad (4)$$

Bu ifadede T_p parça üretim süresini (saat), t_{ij} i'nci parçanın j'nci makinedeki standart üretim zamanını (saat), a_{jk} j'nci presin k'nci hatta atanması halinde 1, aksi halde 0 olan bir çarpanı, c_k k'nci hücre (üretim hattı) makine ve/veya işçilik verimini, M_p ise günlük parça üretim sayısını tanımlamaktadır. T_p parça üretim süresi (saat), M_p , t_{ij} , a_{jk} ve c_k parametreleri kullanılarak denklem 4 ile hesaplanmaktadır

Ancak, emek yoğun çalışılan işletmelerde motivasyon, organizasyon ve eğitim faktörleri nedeniyle, standart üretim zamanlarında sapmalar meydana gelmektedir. Sapma, makine verimi anlamına gelmektedir. Kapasite ve işçilik hesaplarının gerçekçi temellere oturtulması için bu sapmaların göz önünde bulundurulması gerekir.

Makinede yapılan işçilik verimi $\eta > 1$ olması durumunda, standart üretim zamanına göre yapılan üretim daha kısa zamanda gerçekleştirileceğinden, kullanılmayan makine ve iş gücü fazlası oluşacaktır.

Makinede yapılan işçilik verimi $\eta < 1$ olması durumunda, standart üretim zamanına göre yapılan üretim daha uzun sürede gerçekleşeceğinden, hedeflenen miktarda üretim sağlanamayacak ve dolayısıyla kapasite yetersizliği söz konusu olacaktır. Makine verimi, üretilen her üretim kafesi için farklı değerlerde gerçekleştirilir.

Bu çalışmada yapılan hesaplamalarda, üretimin uzun süreli izlenmesi sonucunda, hatlarda üretilen parçaların ortalama makine verimleri alınmıştır.

$$M_p = \sum_{g=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^l a_g \cdot (l_{it} \cdot M_t \cdot k_{it} + m_i) \quad (\text{ad./ çev.}) \quad (5)$$

Bu ifadede, M_p g günlük çevrimde üretilen parça sayısını (Adet / Çevrim) cinsinden ifade etmektedir. M_p parametresi başka bir ifadeyle, üretim planlarında bir çevrimde üretilecek parça miktarı, montaj yapılacağı günlük araba üretim miktarına (parçanın araba üzerindeki kullanım katsayısına) ve yedek parça talebine göre belirlenmektedir. Denklem 5'te bulunan diğer değişkenlerden, a_g g günlük çevrimi (gün), l_{it} i'nci parçanın t'nci tip arabada kullanılması durumunda 1, aksi halde 0 olarak alınan bir katsayı, M_t t'nci tip araba üretim sayısı (Adet / gün), k_{it} i'nci parçanın

t'nci araba tipi üzerindeki kullanım katsayısı, m_i i'nci parçanın yedek parça sayısı (Adet / gün) olarak tanımlanmaktadır.

Üretim İçi Direkt Kayıplar:

Üretim sürecinde beklenmeyen, üretimin durmasına ya da aksamasına neden olan arızalardır. Söz konusu arızalar aşağıdaki denklemler ile ifade edilebilir.

Pres arıza

Preslerde meydana gelebilecek arıza kayıplar denklem 5'te verilen ifade ile hesaplanmaktadır.

$$T_{pa} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p T_p \cdot \mu_{pj} \cdot a_{jk} \quad (\text{saat}) \quad (6)$$

Burada, T_{pa} (saat) cinsinden Pres arıza süresini, μ_{pj} ise j'nci presin k'nci hattaki (hücre) pres arıza oranını göstermektedir. T_p parça üretim süresi (saat / çevrim), denklem 4 vasıtasıyla T_p (dakika / çevrim) cinsinden parça üretim süresi hesaplanarak ve μ_{pj} ile a_{jk} parametreleri kullanılarak denklem 6 ile hesaplanmaktadır.

$$T_{ka} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \sum_{k=1}^p T_p \cdot \mu_{kjk} \cdot a_{jk} \quad (\text{saat}) \quad (7)$$

Burada, T_{ka} (saat / çevrim) cinsinden Kalıp arıza süresi, μ_{kjk} ise j'nci presin k'nci hattaki (hücre) kalıp arıza oranıdır. T_{ka} (saat / çevrim) cinsinden Kalıp arıza süresi, T_p , μ_{kjk} ve a_{jk} parametreleri kullanılarak denklem 7 ile hesaplanmaktadır.

$$T_{oa} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p T_p \cdot \mu_{ojk} \cdot a_{jk} \quad (\text{saat}) \quad (8)$$

Otomasyon arıza

Burada, T_{oa} (saat / çevrim) cinsinden Otomasyon arıza süresi ve μ_{ojk} j'nci presin k'nci hattaki (hücre) otomasyon arıza oranıdır. T_{oa} (saat / çevrim) cinsinden Otomasyon arıza süresi, T_p , μ_{ojk} ve a_{jk} parametreleri kullanılarak denklem 8 ile hesaplanmaktadır.

$$T_m = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p b_{jk} \cdot a_{jk} \cdot t_{mjk} \quad (\text{saat}) \quad (9)$$

Kalıp montaj ve üretim hazırlık zamanı

Burada, T_m (saat) cinsinden Kalıp montaj süresini, t_{mjk} (saat) cinsinden j'nci presin k'nci hattaki (hücre) kalıp montaj süresini, b_{jk} j'nci presin k'nci hatta atanması halinde 1, aksi durumda 0 olan katsayıyı göstermektedir. T_m (saat) cinsinden Kalıp montaj süresi, b_{jk} , a_{jk} ve t_{mjk} parametreleri kullanılarak denklem 9 ile hesaplanmaktadır.

Üretim İçi Endirekt Kayıplar (T_{id})

Ortaya çıkış nedenleri, üretime bağlı olmayan enerji kesintisi vb. kayıplardır. Son 6 aylık üretim değerlerine bakıldığında, sıfıra eşit olduğundan hesaplamalarda yer almamıştır.

Üretim dışı zamanların Modellenmesi

Üretimin bir bileşeni olmasına rağmen, direkt üretim faaliyetine dönüşmeyen, planlı bakım, yeni mamul devreye alma ve iş yokluğunu içeren zamanlardır (Çizelge 5). Planlı bakımlarda, pres ya da kalıpların periyodik bakımları, yeni mamul devreye alma zamanlarında ise kalıpların makinelere alıştırma ve deneme çalışmaları yapılmaktadır. Üretim dışı zamanlar, üretimin bir fonksiyonu değildir. Dolayısıyla, açık zaman esas alınarak hesaplanmaktadır. Üretim dışı zamanlar aşağıdaki denklem 10 ile ifade edilir.

$$T_{üd} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p T_{az} \cdot (\gamma_{pj k} \cdot a_{jk} + \gamma_{kj k} \cdot a_{jk} + \gamma_{oj k} \cdot a_{jk}) \quad (10)$$

Burada, $T_{üd}$ (saat) cinsinden üretim dışı zamanı, T_{az} (saat) cinsinden toplam zamanı (Açık zaman), $\gamma_{pj k}$ j'nci presin k'nci hattaki (hücre) planlı Pres bakım oranını, $\gamma_{kj k}$ j'nci presin k'nci hattaki (hücre) planlı Kalıp bakım oranını, $\gamma_{oj k}$ ise j'nci presin k'nci hattaki (hücre) planlı otomasyon bakım oranını tanımlamaktadır.

2.4. Çevrim Periyodu Maliyeti ve Optimum Çevrim Periyodunun Belirlenmesi

Bu çalışmada incelenen, üretim çevrim periyodu optimizasyonunun belirlenmesinde çevrim periyoduna etki eden tüm faktörler değerlendirilmiştir. Çevrim maliyetine etki eden bu faktörler: Kalıp değişim maliyeti, taşıma kabı maliyeti, ürün stok alanı maliyeti, hammadde (sac) stok maliyeti, ayar parça ıskarta maliyeti, üretim işçilik maliyeti ve üretim hızına erişim maliyeti olarak sıralanabilir.

Bu faktörler çevrim periyoduna bağlı olarak maliyetleri azalan ya da artan bir şekilde etkilemektedir. İşletmeler finansal olarak kâr amacı güttüğünden, tüm maliyetler ortak para biriminde değerlendirilerek optimum çevrim periyodu belirlenmiştir.

Kalıp Değişim Maliyeti:

Üretim hazırlık zamanı, bir parçanın üretiminin son parçasının tamamlanıp diğer bir parça kalıplarının bağlanarak üretimine başlanıncaya kadar geçen zaman dilimi olarak tanımlanmaktadır. Denklem 11' deki hesaplama modeli ile hesaplanmıştır.

$$C_m = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p t_{mj k} \cdot C_p \cdot n_{pij} \cdot b_{ij} \cdot a_{jk} \quad (\text{saat}) \quad (11)$$

Bu ifadede; C_m (\$ / yıl) türünden montaj işçilik maliyetini, C_p (\$ / saat) türünden birim işçilik maliyetini, $t_{mj k}$ (saat) türünden j'nci presin k'nci hattaki kalıp montaj zamanını, n_{pij} i'nci parçanın j'nci presteki işgören sayısını, b_{jk} j'nci presin k'nci hatta atanması halinde 1 aksi halde 0 olan bir katsayıyı ve a_{jk} j'nci presin k'nci hatta atanması durumunda 1 aksi halde 0 olan bir katsayıyı tanımlamaktadır. Denklem 11 ile hesaplanan montaj işçilik maliyeti, üretim çevrim periyodu modellemesinde önemli bir üretim parametresini temsil etmektedir.

Taşıma Kabı Maliyeti:

$$C_t = \sum_{i=1}^n - \sum_{t=1}^w \frac{(M_p + M_e)}{(q_{tit} \cdot A_t)} \cdot z_{it} \cdot k_t \quad (\$/\text{yıl}) \quad (12)$$

Burada, C_t (\$ / yıl) cinsinden taşıma kabı maliyetini, M_e (ad. parça / çevrim) cinsinden emniyet stoku parça miktarını, q_{tit} (ad. parça / taşıma kabı) cinsinden i'nci parçanın t'nci tip taşıma kabına konulan parça miktarını, z_{it} (\$ / ad.) cinsinden i'nci parçanın t'nci tip taşıma kabı birim maliyetini, A_t taşıma kabı amortisman süresini (5 yıl) ve k_t taşıma kabı bakım ve işletme giderleri katsayısını (1,03) ifade etmektedir. Taşıma kabı maliyetini ifade eden C_t (\$ /yıl), otomotiv şirketinin üretim yapabilmesi için gerekli yatırım miktarı denklem 12 ile belirlenmektedir.

Ürün Stok Alanı Maliyeti:

Kafile tipi üretimlerde, üretim miktarı çevrim periyoduna bağlı olarak değişmektedir. Diğer bir deyişle, ürün stok alanı, üretim çevrim periyodunun bir fonksiyonudur. Ambar taşıma kabı stok alanını (A_{ap}) maksimum değere ulaştıran çevrim periyodunun s'nci günü net ambar taşıma kabı alanı olarak belirlenir. Brüt stok alanının bulunması için net stok alanı 1.6 katsayısı ile çarpılmış ve bina yatırımında bu değer esas alınmıştır.

$$A_{ap} = \sum_{g=1}^r \sum_{i=1}^n \sum_{s=1}^u \sum_{t=1}^w n_{tis} \cdot a_{it} \quad (m^2) \quad (13)$$

Burada, A_{ap} (m^2) cinsinden taşıma kabı stok alanını, a_{it} (m^2 /grup) cinsinden i'nci parçanın t'nci tip taşıma kabı için grup (birim taşıma kabı) alanını, n_{tis} ise i'nci parça çevrim periyodunun s'nci günündeki taşıma kabı grup adedini belirtmektedir.

$$C_{bt} = \sum_{g=1}^r \frac{A_{ap} \cdot z_b \cdot k_b}{A_b} \quad (\$/\text{yıl}) \quad (14)$$

Burada, C_{bt} (\$/yıl) cinsinden taşıma kabı stok alanı yatırım maliyetini, A_{ap} (m^2) cinsinden taşıma kabı stok alanını, z_b (\$ / m^2) cinsinden bina birim yatırım maliyetini, A_b (\$/yıl) cinsinden bina amortisman süresini ve k_b ise bina bakım, işletme giderleri katsayısını (1.05) göstermektedir.

Ambar taşıma kabı stok alanını (A_{ap}) maksimum değere ulaştıran çevrim periyodunun s'nci günü net ambar taşıma kabı alanı olarak belirlenir. Brüt stok alanının bulunması için net stok alanı 1.6 katsayısı ile çarpılır. Bina yatırımında bu değer esas alınır.

Ürün stok alanı A_{ap} (m^2) denklem 13 ile hesaplandıktan sonra denklem 14'te A_{ap} taşıma kabı ambar stok alanı ve yukarıda verilen diğer parametreler kullanılarak taşıma kabı stok alanı yatırım maliyeti elde edilmektedir.

Hammadde (Sac) Stoklama Alanı Maliyeti:

Stoklama maliyeti, ulaşım yöntemleri, uzaklık, stoklama süresi ve maliyeti gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Otomotiv sanayinde presleme sacı olarak kullanılan saclar, büyük oranda yurtdışına bağımlı olduğundan, stoklama masrafları önem kazanmaktadır.

Çevrim ambar stok alanı:

$$A_{as} = \sum_{g=1}^r \sum_{i=1}^n n_{si} \cdot a_{is} \quad (m^2) \quad (15)$$

Burada, A_{as} (m^2) cinsinden sac ambarı net stok alanını, a_{is} (m^2) cinsinden i 'nci parça stoklama grubu birim alanını, n_{si} i 'nci parça stoklama grup sayısını ifade etmektedir.

Sac stoklama alanı maliyeti:

$$C_{bs} = \sum_{g=1}^r A_{as} \cdot z_b \cdot A_b \cdot k_b \quad (\$/yıl) \quad (16)$$

Burada, C_{bs} ($\$/yıl$) cinsinden sac stok alanı yatırım maliyetini, z_b ($\$/m^2$) cinsinden bina birim yatırım maliyetini, A_b (yıl) cinsinden bina amortisman süresini, k_b ise bina bakım ve işletme giderleri katsayısını ifade etmektedir. Denklem 15 ile A_{as} sac stoklama alanı ihtiyacı (m^2), denklem 15' te hesaplanan A_{as} sac stok alanı değeri ve yukarıda verilen diğer parametreler denklem 16' da kullanılarak C_{bs} ($\$/yıl$) cinsinden sac stok alanı yatırım maliyeti elde edilmektedir.

Ayar Parça İskarta Maliyeti (Ayardan Atılan):

Çevrimsel üretim yapılan sektörlerde, üretim başlangıcındaki ayar çalışmalarında zorunlu olarak ıskartaya ayrılan parça miktarı oluşmaktadır. İskarta miktarı çevrim periyoduna bağlı olarak değişmektedir. Buradan hareketle ıskartaya ayrılan parça miktarı, çevrim periyodunun bir fonksiyonudur. Aşağıdaki hesaplama modeli ile hesaplanmaktadır.

$$C_{sk} = \sum_{g=1}^r \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^p \frac{d_i \cdot a_{pk} \cdot c_{si} \cdot n_g}{a_g} \quad (\$/yıl) \quad (17)$$

$$C_{si} = \sum_{g=1}^r \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p \quad (\$/yıl) \quad (18)$$

Burada, C_{sk} ($\$/yıl$) türünden ıskarta parça maliyetini, C_{si} ($\$/yıl$) sac ayar ıskarta işçilik maliyetini, c_p ($\$/h$) türünden birim işçilik maliyetini, a_{pk} (kg / parça) türünden i 'nci parçanın k 'nci hattaki ıskarta ağırlığını, c_{si} ($\$/kg$) türünden i 'nci parça birim sac maliyetini, n_g (gün / yıl) türünden yıllık üretim gün sayısını, a_{pk} (Ad. /çevrim) türünden k 'nci hat ortalama ıskarta parça miktarını tanımlamaktadır. Ayar parça ıskarta maliyeti

Buradan, ($\$/yıl$) türünden denklem 17 ile hesaplanan ayar parça ıskarta maliyeti (C_{sk}) ile sac ayar ıskarta işçilik maliyetini (C_{si}) hesaplayan denklem 18 toplanarak, ($\$/yıl$) cinsinden denklem 19 ile tanımlanan toplam ayar parça ıskarta maliyeti (C_k) elde edilir.

$$C_k = C_{sk} + C_{si} \quad (\$/yıl) \quad (19)$$

Üretim İşçilik Maliyeti:

Yapılan çalışmada standart üretim zamanlarında değişiklik olmadığından, üretim zamanları; Üretim periyodunda, işçilik zamanları değişme göstermemektedir. Denklem 20 ile hesaplanan üretim işçilik maliyeti C_i , standart makine zamanlarında ve personel sayısında değişim olduğunda bu çevrim periyodu işçilik maliyetine pozitif ya da negatif yönde yansiyacaktır.

$$C_i = \sum_{g=1}^r \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{t_{ij} \cdot n_{pij} \cdot c_p \cdot M_p \cdot n_g}{a_g} \quad (\$/yıl) \quad (20)$$

Burada, C_i ($\$/yıl$) cinsinden toplam üretim işçilik maliyetini, n_{pij} i 'nci parçanın j 'nci presteki işgören sayısını, c_p ($\$$) cinsinden birim işçilik maliyetini, M_p (ad. parça / çevrim) cinsinden "g" günlük çevrimde üretilen parça sayısını, n_g (gün/yıl) cinsinden yıllık üretim gün sayısını, a_g (gün) cinsinden g günlük çevrim gün sayısını ve t_{ij} (saat) cinsinden i 'nci parçanın j 'nci presteki standart üretim zamanını ifade etmektedir.

Üretim Hızına Erişim Maliyeti:

Her parçanın standart makine ve işçilik zamanları, zaman etüdü yöntemleri ile belirlenmektedir. Üretim başlangıcında, manuel hatlarda iş görenlerin üretim işlemine alışması, otomatik hatlarda ise ilk etapta yaşanan aksaklıklardan dolayı oluşan küçük kayıplar, belirlenen standart üretim zamanlarına belli bir gecikme ile ulaşılmasına neden olur. Bu süre içinde, hedeflenen üretimden daha az parça üretilerek, belli oranlarda işçilik kayıpları oluşur. Denklem 21 ile elden edilen C_{he} üretim hızına erişim maliyetinde, yapılan analizlerde ilk 20 dakika içinde manuel hatlarda %30, otomasyon hatlarında %10 ve %15 oranında bir üretim kaybı yaşandığı gözlenmiştir. Bu kayıplar üretim çevrim periyoduna bağlı olarak değişmektedir.

$$C_{he} = \sum_{g=1}^r \sum_{k=1}^p \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \frac{(20/60) \cdot \lambda_k \cdot n_p \cdot c_p \cdot n_g}{a_g} \quad (\$/yıl) \quad (21)$$

Burada, C_{he} ($\$/yıl$) cinsinden üretim hızına erişim maliyetini, λ_k (%) kayıp işçilik oranını (manuel hatlar için $\lambda_k = 0,30$, yarı otomatik hatlar $\lambda_k = 0,15$, tam otomatik hatlar $\lambda_k = 0,10$).

Toplam Üretim Maliyeti:

Toplam üretim maliyeti, çevrim periyodu fonksiyonu olarak adlandırılan yukarıda belirtilen faktörler ile ilgili maliyetlerin aritmetik toplamına eşittir. Çevrim periyoduna bağlı üretim maliyetini oluşturan üretim parametreleri, çevrim periyoduna bağlı olarak artma ya da azalma eğilimi göstermektedir.

$$C_{tü} = \sum_{g=1}^r C_m + C_t + C_{bt} + C_{bs} + C_k + C_i C_{he} \quad (\$/yıl) \quad (22)$$

Burada, $C_{tü}$ ($\$/yıl$) türünden g 'nci çevrim gününe karşılık gelen toplam üretim maliyetini ifade etmektedir.

Üretim çevrim periyoduna etki eden faktörlerin matematiksel modellemeleri oluşturulmuştur. Oluşturulan modellemeler, Excel programında Visual Basic dilinde hazırlanan makrolar ile 1 – 30 günlük çevrim periyodunda hesaplanmış ve elde edilen veriler Çizelge 6' da sunulmuştur. Çizelge 6, mevcut ile önerilen üretim modeli, üretim çevrim periyoduna bağlı olarak, mevcut ve önerilen üretim modeli ile ilgili üretim parametreleri değişimini göstermektedir. Bu çizelgeye göre, önerilen üretim modelinde, en düşük üretim maliyetinin "6 günlük" bir çevrim periyodunda sağlanabildiği açıkça görülmektedir. Diğer bir deyişle, minimum üretim maliyetine karşılık gelen optimum üretim çevrim periyodu 6 gündür. Bu durumda, mevcut ve önerilen üretim modelinin üretim parametrelerinin karşılaştırması, mevcut durumda 10 gün

olarak uygulanan çevrim periyodu ile önerilen (optimizasyon sonucu) belirlenen 6 günlük çevrim periyodu

Çizelge 6. Çalışma Öncesi ve Sonrası Toplam Çevrim Periyodu Maliyetlerinin Karşılaştırılması

Çalışma öncesi uygulanan (mevcut) üretim modelinde üretim çevrim periyodu maliyetleri (10³ \$ / yıl)

Çalışma sonrası uygulanan (önerilen) üretim modelinde üretim çevrim periyodu maliyetleri (10³ \$ / yıl)

Çevrim günü	Montaj İşçiliği (10 ³ \$ / YIL)	Taşıma kabı yatırımı (10 ³ \$ / YIL)	Parça Stok Alanı (10 ³ \$ / YIL)	Sac Stok Alanı (10 ³ \$ / YIL)	Üretim İşçiliği (10 ³ \$ / YIL)	Ayar ıskarta (10 ³ \$ / YIL)	Üretim hızına erişim (10 ³ \$ / YIL)	TOPLAM (10 ³ \$/YIL)
1.Gün	802.3	162.9	57.0	27.8	641.0	651.4	174.4	2516.9
2.Gün	401.1	190.1	59.1	31.8	641.0	325.7	87.2	1736.1
3.Gün	267.4	232.1	59.3	37.4	641.0	217.1	58.1	1512.5
4.Gün	200.6	267.6	64.0	42.2	641.0	162.9	43.6	1421.7
5.Gün	160.5	275.8	65.2	48.0	641.0	130.3	34.9	1355.7
6.Gün	133.7	294.6	72.4	53.8	641.0	108.6	29.1	1333.2
7.Gün	114.6	323.1	80.3	58.3	641.0	93.1	24.9	1335.3
8.Gün	100.3	350.9	84.9	64.4	641.0	81.4	21.8	1344.7
9.Gün	89.1	350.9	92.2	69.2	641.0	72.4	19.4	1334.2
10.Gün	80.2	383.6	101.6	76.8	641.0	65.1	17.4	1365.8
11.Gün	72.9	416.8	100.2	81.3	641.0	59.2	15.9	1387.4
12.Gün	66.9	431.2	108.5	86.4	641.0	54.3	14.5	1402.7
13.Gün	61.7	456.7	111.4	93.8	641.0	50.1	13.4	1428.2
14.Gün	57.3	477.4	120.1	99.3	641.0	46.5	12.5	1454.1
15.Gün	53.5	511.0	127.9	105.1	641.0	43.4	11.6	1493.6
16.Gün	50.1	543.7	132.1	111.7	641.0	40.7	10.9	1530.3
17.Gün	47.2	570.6	139.8	117.8	641.0	38.3	10.3	1565.0
18.Gün	44.6	598.4	147.1	124.2	641.0	36.2	9.7	1601.1
19.Gün	42.2	633.4	152.3	129.5	641.0	34.3	9.2	1641.9
20.Gün	40.1	665.7	156.7	135.0	641.0	32.6	8.7	1679.8
21.Gün	38.2	689.7	154.5	140.1	641.0	31.0	8.3	1702.8
22.Gün	36.5	689.6	159.7	148.5	641.0	29.6	7.9	1712.8
23.Gün	34.9	726.3	168.5	154.1	641.0	28.3	7.6	1760.6
24.Gün	33.4	754.1	174.8	159.4	641.0	27.1	7.3	1797.1
25.Gün	32.1	779.8	179.2	165.7	641.0	26.1	7.0	1830.8
26.Gün	30.9	806.4	188.4	169.9	641.0	25.1	6.7	1868.3
27.Gün	29.7	851.2	193.2	175.2	641.0	24.1	6.5	1921.0
28.Gün	28.7	872.3	202.5	183.7	641.0	23.3	6.2	1957.6
29.Gün	27.7	904.1	207.3	188.7	641.0	22.5	6.0	1997.2
30.Gün	26.7	929.3	213.0	194.5	641.0	21.7	5.8	2032.1

Montaj İşçiliği (10 ³ \$ / YIL)	Taşıma kabı yatırımı (10 ³ \$ / YIL)	Parça Stok Alanı (10 ³ \$ / YIL)	Sac Stok Alanı (10 ³ \$ / YIL)	Üretim İşçiliği (10 ³ \$ / YIL)	Ayar ıskarta (10 ³ \$ / YIL)	Üretim hızına erişim (10 ³ \$ / YIL)	TOPLAM (10 ³ \$/YIL)
564.3	183.2	57.0	27.8	546.3	605.8	108.4	2092.9
282.2	206.7	56.7	31.8	546.3	302.9	54.2	1480.8
188.1	232.1	60.0	37.4	546.3	201.9	36.1	1302.0
141.1	259.7	66.0	42.2	546.3	151.5	27.1	1233.8
112.9	262.4	68.5	48.0	546.3	121.2	21.7	1180.9
94.1	284.7	72.8	53.8	546.3	101.0	18.1	1170.7
%17.2	-	-	-	%14.8	%55.0	%3.6	-
80.6	321.1	83.1	58.3	546.3	86.5	15.5	1191.4
70.5	347.7	87.8	64.4	546.3	75.7	13.6	1206.0
62.7	347.7	94.9	69.2	546.3	67.3	12.0	1200.1
56.4	369.3	99.4	76.8	546.3	60.6	10.8	1219.7
51.3	398.9	103.0	81.3	546.3	55.1	9.9	1245.7
47.0	417.8	108.3	86.4	546.3	50.5	9.0	1265.4
43.4	452.0	113.7	93.8	546.3	46.6	8.3	1304.1
40.3	459.1	121.3	99.3	546.3	43.3	7.7	1317.3
37.6	492.9	129.3	105.1	546.3	40.4	7.2	1358.9
35.3	532.8	134.4	111.7	546.3	37.9	6.8	1405.2
33.2	561.5	141.9	117.8	546.3	35.6	6.4	1442.7
31.4	579.8	146.4	124.2	546.3	33.7	6.0	1467.7
29.7	608.9	154.4	129.5	546.3	31.9	5.7	1506.4
28.2	645.3	159.4	135.0	546.3	30.3	5.4	1549.9
26.9	677.1	156.0	140.1	546.3	28.8	5.2	1580.4
25.7	678.5	163.4	148.5	546.3	27.5	4.9	1594.8
24.5	706.2	169.7	154.1	546.3	26.3	4.7	1631.9
23.5	740.2	178.6	159.4	546.3	25.2	4.5	1677.7
22.6	769.2	181.0	165.7	546.3	24.2	4.3	1713.3
21.7	793.8	189.0	169.9	546.3	23.3	4.2	1748.2
20.9	811.1	194.2	175.2	546.3	22.4	4.0	1774.3
20.2	837.7	201.3	183.7	546.3	21.6	3.9	1814.7
19.5	870.3	208.4	188.7	546.3	20.9	3.7	1857.9
18.8	897.8	215.7	194.5	546.3	20.2	3.6	1897.0

karşılaştırmasında aşağıda verilen sonuçlar elde edilmiştir. Denklem 22 ile hesaplanan üretim parametreleri toplam maliyetlerinin, üretim çevrim periyoduna bağlı olarak değişimi, farklı değerlerde olduğu çizelge 6'dan anlaşılmaktadır. 1 ile 30 gün arasındaki çevrim periyotlarına karşılık gelen toplam üretim maliyetleri denklem 22 ile elde edilerek çizelge 6'da ve aynı zamanda şekil 4'te grafik şeklinde sunulmuştur.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Çevrim optimizasyonuna etki eden faktörlerin 1 ile 30 arası hesaplamaları çizelge 6'da verilmiştir. Bu hesaplamaya göre şekil 4' de görülen grafik elde edilmiştir. Deney sonuçlarından elde edilen Şekil 4'te verilen bu eğriler sayısal olarak analiz modeller,

tüm maliyetler için ayrı ayrı ve toplam maliyeti verecek şekilde Çizelge 7'de verilmiştir

Toplam çevrim periyodu maliyetinin en düşük olduğu çevrim periyodunu almak için Denklem 23'de gösterildiği gibi fonksiyonun türevini alarak ve sıfıra eşitlenerek elde edilen 3. Mertebeden polinomun köklerinden biri minimum çevrim sayısını vermektedir. Böylece minimum Toplam çevrim periyodu maliyetini veren çevrim gün değeri elde edilmiş olur.

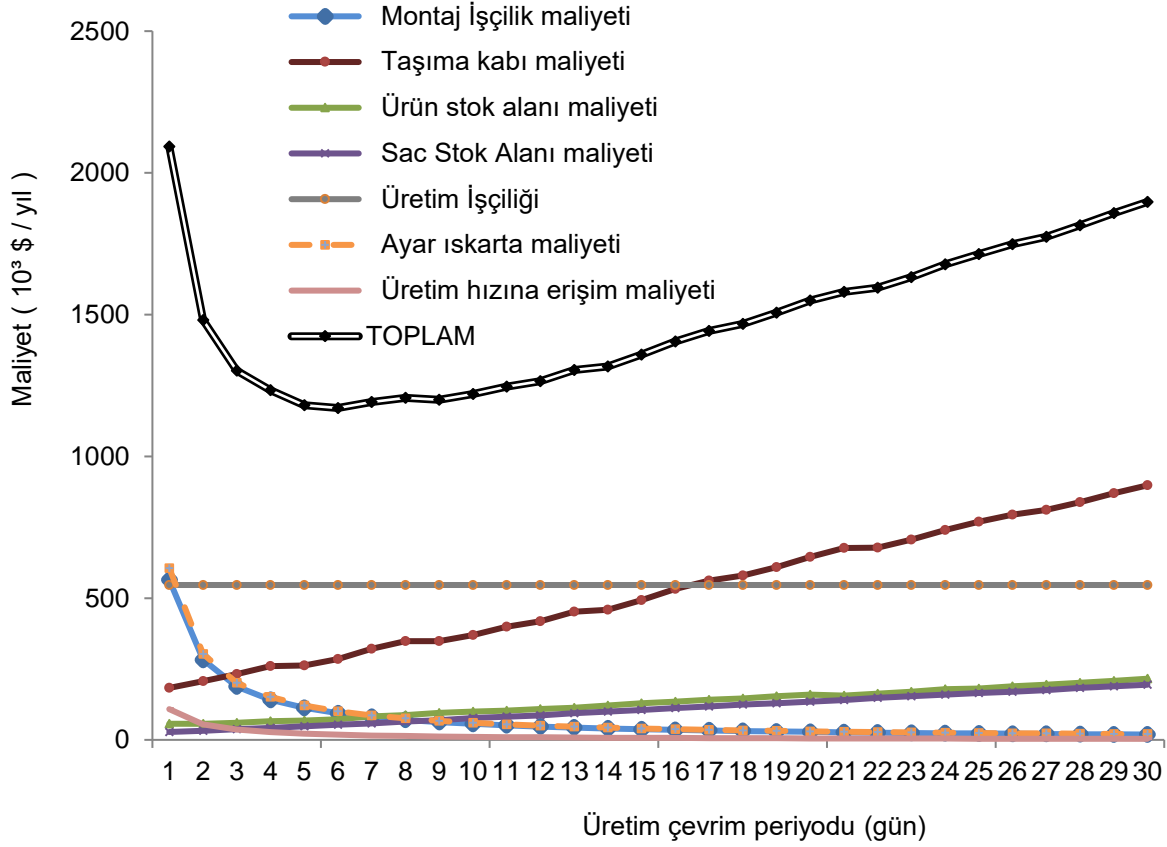
$$\frac{dC_{t\bar{u}}}{dx} = 0 \quad (23)$$

Buradan minimum maliyetli çevrim periyodu 6 gün olarak elde edilmektedir.

Çizelge 8'de mevcut üretim durumunda uygulanmakta olan 10 günlük mevcut çevrim periyodu ile, önerilen (optimize edilen)

çevrim periyodu modellemesi ile belirlenen hücrelere parça ataması sonucu hesaplanan 6 günlük çevrim periyoduna göre artan veya azalan faktörleri göstermektedir. Bu tabloya göre montaj ve işçilik maliyeti, ayar parça ıskarta maliyeti, üretim

hızına erişim maliyetlerinin arttığı ancak diğer parametrelerin azaldığı görülmektedir. Toplamda ise %14.29'luk bir kazancın elde edildiği görülmektedir. Başka bir ifadeyle, çevrim periyodu



Şekil 4. Çalışma Sonrasına (Önerilen Üretim Çevrim Periyoduna) Göre Toplam Üretim Maliyet Grafiği (10³ \$ / yıl)

Çizelge 7. Üretim Çevrim Periyodu Matematiksel Modelleri	Sembol	Eğrinin fonksiyonu	Hata (R ²)
Maliyet			
Kalıp montaj maliyeti	C _m	$y = 7x^3 + 71x^2 - 376x + 858$	0.9800
Taşıma kabı maliyeti	C _t	$y = 24.82x + 140.17$	0.9964
Ürün stok alanı maliyeti	C _{bt}	$y = 5.61x + 43.64$	0.9966
Hammadde (sac) stok maliyeti	C _{bs}	$y = 5.84x + 18.55$	0.9994
Ayar parça ıskarta maliyeti	C _k	$y = 0.01x^5 + 0.33x^4 - 6.64x^3 + 70.82x^2 - 376.47x + 857.88$	0.9800
Üretim işçilik maliyeti	C _i	$y = 546.30$	1.0000
Üretim hızına erişim maliyeti	C _{he}	$y = 108.43x^{-1}$	1.0000
Toplam çevrim periyodu maliyeti	C _{tü}	$y = 0.72x^4 - 14.57x^3 + 1553x^2 - 7949x + 2.67$	0.9800

optimizasyonu çalışmamız ile yıllık 195100 \$ kazanç sağlanmıştır.

4. Sonuç ve Öneriler

Çevrim periyoduna etki eden faktörlerin değişimi	Sembol	(%)	
Montaj işçilik maliyeti	C_m	17.23	↗
Taşıma kabı yatırım maliyeti	C_t	-25.78	↘
Parça stok alanı yatırım maliyeti	C_{bt}	-28.37	↘
Sac stok alanı yatırım maliyeti	C_{bs}	-29.97	↘
Üretim işçilik maliyeti	C_k	-14.77	↘
Ayar parça ıskarta maliyeti	C_i	55.00	↗
Üretim hızına erişim maliyeti	C_{he}	3.60	↗
TOPLAM		-14.29	

Bu çalışmada, Hücreli Üretim Sistemi yaklaşımı ile Pres hattı yükleme ve üretim çevrim periyodu optimizasyonu incelenmiştir. Geliştirilen modelin uygulandığı bir makro kodlama gerçekleştirilmiştir. Yazılan makro program vasıtasıyla, Oyak Renault Otomobil Fabrikaları A.Ş. Pres Atölyesinde halihazırda uygulanan üretim modeli ile önerilen model için birbirinden bağımsız olarak hesaplama yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Kurulan modelde, Atölyenin imal ettiği tüm parçalar için pres hattı yükleme problemi incelenmiştir. Dolayısıyla, çalışma konusunu oluşturan çevrim periyodu

• Çalışmada elde edilen iş yükü dağılımına göre, mevcut üretim modelinde pres hatlarının dengesiz bir iş yükü dağılımı söz konusu iken, önerilen üretim modeli ile daha dengeli bir iş yükü dağılımı elde edilmiştir.

• Çalışmada geliştirilen üretim modeli ile iş yükünde otomasyon hatlarında artış, manuel hatlarda ise düşme görülmüştür. Bunun anlamı, işçilik maliyetinin ve buna bağlı diğer maliyet girdilerinin azalması şeklinde özetlenebilir.

• İkinci aşamada, program ile üretim çevrim periyodu optimizasyonu, mevcut ve önerilen üretim modellerinin her ikisi için de yapılmıştır. Önerilen üretim modelinde, en düşük üretim maliyetinin “6 günlük” bir çevrim periyodunda sağlanabildiği görülmüştür.

• Montaj işçilik maliyetlerinde 10 günlük çevrim periyoduna göre daha fazla montaj yapıldığından %17 artış, 10 günlük çevrim periyoduna göre montaj sayısındaki artışa bağlı ayar parça ıskarta maliyetinde %55 artış, üretim hızına erişim maliyetinde %3,6 artış elde edilmiştir. Buna karşılık, taşıma kabı yatırımlarında “-%25,78”, parça stok alanı yatırım maliyetinde “-%28,37” ve sac stok alanı yatırım maliyetinde “-%29,97”, üretim işçiliğinde “-%14,77” kazanç sağlanmıştır.

• Çevrim periyodu optimizasyonu çalışması ile toplam “-%14,29” oranında bir tasarruf (kazanç) sağlanmıştır. Diğer bir deyişle, çevrim periyodu optimizasyonu ile 195100 (\$/yıl) kazanç sağlandığı görülmüştür.

• Yıllık bazda sağlanan bu kazanç, ürün maliyetini azaltıcı yönde rol oynayıp, işletmenin rekabet gücünün artırılmasında önemli bir yere sahip olacaktır.

• Üretim parametreleri maliyetlerinin, üretim çevrim periyoduna bağlı olarak değişimi farklı değerlerde olmaktadır.

modellemesinde, program girdileri, parça sayısı, parça referans sayısı (163 adet) gerçek değerler üzerinden birebir olarak alınmıştır. Bunun sonucunda, bilgisayar program çıktıları, gerçek üretim parametrelerini yansıtmaktadır.

Önerilen model ile ilgili bilgisayar programı, hesaplamayı iki aşamada gerçekleştirmiştir. Birinci aşamada, Pres Atölyesinde üretilen 163 referans parçanın, benzerlik kriterlerine göre Pres

Çizelge 8. Uygulanan 10 Günlük Çevrim Periyoduna Göre Önerilen Durumda (Optimizasyon Sonucu) Belirlenen 6 Günlük Çevrim Periyodunda Artan ya da Azalan Maliyetlerin Karşılaştırılması

hatlarına (5 hat) otomatik olarak ataması gerçekleştirilmektedir. Hesaplanan sonuçlar çizelge 7’de verilmiştir.

Yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur:

- Çalışma öncesinde yordamsal olarak belirlenen çevrim periyodu, çalışma sonrasında çevrim periyodu maliyetinin minimum olmasına karşılık gelen Üretim Çevrim Periyodu 6 gün olarak hesaplanmıştır.

- Diğer taraftan, kalıp montaj sürelerinin ve ayar ıskarta adetlerinin düşürülmesi, üretim hızına erişim kayıpları gibi üretime bağlı faktörlerde yapılacak olan Kaizen çalışmaları ile çevrim periyodu maliyetleri önemli oranda düşürülebilir. Gelecekte böyle bir çalışma konusu önerilebilir.

- Model, kriterler değiştirilerek kullanılabilir esnek bir yapıya sahiptir. Bu çalışmada önerilen model, değişebilen günlük araba üretim miktarlarına göre hesap yapabilmeye yeteneğine sahiptir. Günlük araba üretim miktarı değiştiğinde, doğal olarak iş yükünün pres hatlarına dağılımı ve üretim çevrim periyodu değişiklik gösterebilecektir. Ancak üretim çevrim periyodu, üretim maliyetini daima en küçükleyen bir parametre olacaktır. Tasarlanan model, günlük araba üretim miktarı ne olursa olsun, iş yükünün pres hatlarına optimum olarak dağılımı ve minimum üretim maliyeti temin eden üretim çevrim periyodunu hesaplayabilecek bir yapıya sahiptir. Dolayısıyla, önerilen model, sabit bir araba üretim miktarı için hesaplama yapabileceği gibi, değişken araba üretim miktarları için de hesaplama yapabilecek kapasitededir.

- Çalışmada incelenen modelin, yeni inşa edilecek veya halihazırda üretim faaliyeti gerçekleştiren pres veya diğer üretim atölyelerinde optimum hat yüklemesi, üretim hatlarının iş yükü dağılımı ve üretim maliyeti optimizasyonunda kullanılarak pratik sonuçlar vereceği görülmektedir.

- Kalıp montaj maliyeti çevrim periyoduna etki eden en önemli faktörlerdendir.

- Ürünlerin stok alanına taşınması ve stoklanması amacıyla kullanılan taşıma kapları maliyeti çevrim periyoduna göre doğrusal olarak maliyetlere etki ettiği görülmüştür.

- Yığın imalat yapılan üretimlerde, parçaların stoklanması amacıyla stok alanlarının oluşturulması zorunludur. Stok alanları çevrim periyoduna bağlı olarak doğrusal olarak artmaktadır.

- Benzer şekilde, çevrim periyodunda ihtiyaç duyulan sac miktarının stoklanması amacıyla sac stok alanlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu stok alanları, çevrim periyodunun artışı ile çevrim periyodu maliyetini lineer olarak etkilediği görülmüştür.
- Kalıp montajından sonra, prosesin üretim parametrelerine göre ayarlanması için ayar yapılması gerekmektedir. Bu süreçte üretilen parçalar iskarta ayrılmaktadır. Iskarta olan parçalar nedeniyle hammadde ve işçilik kayıpları oluşmaktadır. Iskarta
- Her parçanın üretime girdikten sonra ilk 20 dakika içerisinde manuel hatlarda iş görenin parçaya adaptasyonu ve otomatik hatlarda küçük duruşlar nedeniyle bir kayıp oluşmaktadır. Bu kayıplar maliyeti regresyon analizinde $y = 108.43x - 1$ şeklinde bir fonksiyon oluşturmaktadır.
- Toplam çevrim periyodu maliyeti çevrim periyoduna etki eden faktörlerin aritmetik toplamı olarak bulunmuş ve çevrim periyoduna göre değişimi gösterilmiştir.

5. Teşekkür

Bu çalışmada verdiği destekten dolayı Oyak Renault Otomobil Fabrikaları Anonim Şirketine teşekkür ederim.

Kaynakça

- [1] A. R. Yelles-Chaouche, E. Gurevsky, N. Brahim, and A. Dolgui, Reconfigurable Manufacturing Systems from an Optimisation Perspective: A Focused Review of Literature, *Int. J. Prod. Res.* 0, 1 (2020).
- [2] C. H. Glock and E. H. Grosse, The Impact of Controllable Production Rates on the Performance of Inventory Systems: A Systematic Review of the Literature, *Eur. J. Oper. Res.* 288, 703 (2020).
- [3] F. E. K. Sato and T. Nakata, Energy Consumption Analysis for Vehicle Production through a Material Flow Approach, *Energies* 13, (2020).
- [4] H. Rasay and A. M. Golmohammadi, Modeling and Analyzing Incremental Quantity Discounts in Transportation Costs for a Joint Economic Lot Sizing Problem, *Iran. J. Manag. Stud.* 13, 23 (2020).
- [5] M. Kitazawa, S. Takahashi, T. B. Takahashi, A. Yoshikawa, and T. Terano, Improving a Cellular Manufacturing System through Real Time-Simulation and-Measurement, *Proc. - Int. Comput. Softw. Appl. Conf.* 2, 117 (2016).
- [6] K. V. Durga Rajesh, M. Mani Krishna, M. A. Ali, and P. V. Chalapathi, A Modified Hybrid Similarity Coefficient Based Method for Solving the Cell Formation Problem in Cellular Manufacturing System, *Mater. Today Proc.* 4, 1469 (2017).
- [7] B. A. Norman and K. L. Needy, *International Journal of Worker Assignment in Cellular Manufacturing Considering Technical and Human Skills*, 37 (2010).
- [8] Ö. F. Yılmaz, Sanal Hücreli Üretim Sistemi İçin Üretim Kontrol Sisteminin Belirlenmesi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilim. Derg. Part C Tasarım ve Teknol.* 6, 644 (2018).
- [9] Ö. F. Yılmaz, E. Çevikcan, and M. B. Durmuşoğlu, Scheduling Batches in Multi Hybrid Cell Manufacturing System Considering Worker Resources: A Case Study from Pipeline Industry, *Adv. Prod. Eng. Manag.* 11, 192 (2016).

parça miktarına bağlı maliyetler incelenmiştir. Çevrim periyodunun ayar parça iskarta maliyetini üstel bir fonksiyon şeklinde etkilediği görülmüştür.

- Üretim işçilik maliyetlerinin çevrim periyodunda değişiklik göstermediği görülmüştür. Bu nedenle regresyon analizinde elde edilen doğrusal fonksiyondur.

- [10] Y. Can, A Modelling About the Optimisation of the Production Cycle Period and the Stamp Line Loading with the Approach of the Cell Production System, Osmangazi University, 1999.
- [11] R. G. Askin, Contributions to the Design and Analysis of Cellular Manufacturing Systems, *Int. J. Prod. Res.* 51, 6778 (2013).
- [12] R.G. Askin and S. Estrada, Investigation of Cellular Manufacturing Practices, in *Handbook of Cellular Manufacturing Systems* (2007), pp. 25–34.
- [13] T. Géniteau, Temps d'état et indicateurs de suivi des performances des moyens de production, *Ingénierie Maintenance et Performance des Moyens*, E41.50.505.R /H, (2009).



Tedarik Zincirlerinde Tutumlu İnovasyonun Etkileri

Dilek Özdemir Güngör^{1*}

^{1*} İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, İktisadi İdari Bilimler Fakültesi, Sağlık Yönetimi Bölümü, İzmir, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-1661-3226), dilekozdemir@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 2 Kasım 2020 ve Kabul Tarihi 11 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.819652)

ATIF/REFERENCE: Özdemir-Güngör, Dilek (2021). Tedarik Zincirlerinden Tutumlu İnovasyonun Etkileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 261-267.

Öz

Sürdürülebilirlik problemlerimizin artması ile birlikte sürdürülebilirlik konularına ilişkin kavramlar da büyük ilgi çekmeye başlamıştır. Bu problemlerin çözümü günlük rutinlerimiz, iş modellerimiz, tüketim davranışımız gibi birçok alanda radikal değişiklikler yapmayı gerektirir ve bir dizi araştırma alanının açılmasını sağlar. Bu çalışmada, tutumlu inovasyon yaklaşımlarının tedarik zincirlerine eklenmesi ile birlikte tedarik zincirlerinin ve tedarik zinciri yönetimi yaklaşımlarının nasıl etkilendiğinin anlaşılması hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda Web of Science ve Scopus veritabanlarında taranan yayınlara dayalı bibliometrik bir çalışma yapılmıştır. Temel kavramlar ve bu kavramlar arasındaki ilişki ortaya konulmuştur. Sonuçlar tutumlu inovasyonun genellikle sürdürülebilirlik, kapalı çevrim tedarik zincirleri, yeşil ürünler ve döngüsel ekonomi ile ilişkilendirildiğini göstermektedir. Tasarım kavramı yazında ihmal edilmiş olarak görünmektedir. Tutumlu inovasyonlar çok kısıtlı ve kolayca erişilebilir kaynaklarla gerçekleştirildiğinden tasarımcıları da gerekli kaynaklara daha fazla erişimi olan meslektaşlarından daha yaratıcı olmak durumundadırlar. Bu nedenle, ileride tedarik zinciri ile ilişkilendirilmiş tasarım süreçlerine dair daha fazla çalışmanın görülmesi beklenebilir.

Anahtar Kelimeler: Tutumlu İnovasyon, Tedarik Zinciri Yönetimi, Sürdürülebilirlik.

Effects of Frugal Innovation on Supply Chains

Abstract

Concepts related to sustainability issues have gained great intention with the rise of sustainability problems. Solving these problems necessitates radical changes in our daily practices, business models, consumption behavior etc., and open a number of research venues. In this study, it is aimed to understand how supply chains and supply chain management approaches are affected by the integration of frugal innovation approaches into supply chains. With this aim, a bibliometric study based on publications indexed in Web of Science and Scopus is conducted. Main concepts and relationship among these concepts are demonstrated. The results show that frugal innovation is mostly associated with sustainability, closed-loop supply chains, green products, and circular economy. The design concept seems to be neglected in the literature. As frugal innovations are realized with very limited and easily available resources, designers need to be more creative than their colleagues that have more access to required resources. Thus, in future it may be expected to see more studies directed to design processes associated with supply chains.

Keywords: Frugal Innovation, Supply Chain Management, Sustainability.

* Sorumlu Yazar: dilekozdemir@gmail.com

1. Giriş

Walter Stahel, Nature dergisinde yer alan, dögüsel ekonomiyi açıkladığı makalesine bir aylık bir yenileme süreci sonrası 30 yıllık aracı eve döndüğünde komşusunun verdiği tepkiyi anlatarak başlar. Komşusu kendisine yeni bir araba almış olmasından duyduğu memnuniyeti dile getirmektedir. Oysa Stahel yeni bir araç satın almamış, eski aracını yenilemiştir. Dünyaya baktığımızda binlerce yıldır devam etmekte olan döngüler olduğunu görürüz. Suyun, besin maddelerinin bir döngüsü vardır. Bazı canlıların dışkıları başka canlılar için kaynak oluşturmaktadır. Tüm bu döngüsellüğün içinde sadece insanlar “üret, kullan, at” dürtüsüyle varlığını sürdürmekte; iyi kaliteyi çoğu zaman doğrudan yeni ile ilişkilendirmektedir (Stahel, 2016).

Diğer yandan 1900’lü yılların başlarından beri üreticilerin izlediği planlı eskitme stratejisinde ürünün yaşam döngüsü tasarım aşamasında bilinçli olarak kısaltılmakta; tüketiciler tekrarlanan satın alma davranışı göstermeye zorlanmaktadır. Planlı eskitme stratejisi ile yeninin her zaman daha iyi olduğu anlayışı uyum içerisinde varlığını sürdürmektedir. Ekonomik sıkıntılarının da daha fazla ürün üretilerek aşılabacağı inancı üreticilerin planlı eskitme stratejisini, tüketicilerin ise yeniyi tercih etme eğilimini desteklemektedir (Fulconis, Pache, & Reynaud, 2019).

Bazı durumlarda ise, yine sadece biz insanlar, ihtiyacımız olan ürünleri üretmekle kalmaz, objelere anlamlar yükleyerek çevremizi onlarla donatırız. Bu objeleri kişiliğimizin bir göstergesi olarak kullanarak, çevremize kendimizle ilgili mesajları bu objeler üzerinden veririz. Özellikle pahalı ve lüks ürünler bir ihtiyacı gidermekten çok, bir gösterge olarak kullanılır. Bu eğilim sadece günümüz modern insanında değil, tarih boyunca yaşamış neredeyse tüm toplumlarda var olmuştur. Takıları ile birlikte gömülmüş soylu bireylerin mezarları, insanların yıllar boyunca sergilemiş oldukları metaryalist yaklaşımın en net göstergeleridir (Hood, 2016).

Sahip olduklarımızdan vazgeçmek isteyelim ya da istemeyelim, kabul etmemiz gereken gerçek, dünyadaki kaynakların sınırlı olduğu, malzemelerin yeniden kullanılabilmesi ve kullanılması gerekliliğidir (Hood, 2016). Ekonominin performansını klasik göstergeler ile ölçmeyi bırakıp, döngüsel ekonomi perspektifinden ekonomiye baktığımızda eskinin farklı bir değer taşıdığını görürüz. Dögüsel ekonomide yaşam döngüsünün sonuna gelmiş olan ürünler tekrar kaynağa dönüştürülür, endüstriyel ekosistemde kapalı bir sistem oluşturulur ve atık miktarı en düşük seviyeye çekilir. Ürün tasarımı, tasarlanan ürünün gelecekte yeniden kullanılacağı ya da dönüştürüleceği bilinerek yapılır. Gerekli olan, yeterli düzeyde üretim yapılmasıdır. En yüksek düzeyde üretim yapılması gerekmez; hatta yapılmamalıdır. Tekrar kullanılabilir ürünlerin tekrar kullanılması, kullanılmayacakların dönüştürülmesi, bozulanın tamir edilmesi ve tamir edilemeyecek ürünlerin yeniden üretilmesi esas alınmalıdır. Çoğu zaman bir ürünün tamir edilmesi ya da yeniden üretilmesi, ikame yeni bir ürünün üretilmesinden daha az kaynak fakat daha çok emek gerektirir. Dögüsel ekonomiye geçişin, bu nedenle hem kaynak tüketiminde azalma hem de etkinlik gerektiren iş olanaklarının oluşmasını sağlayarak yerel ekonomiyi destekleyeceği savunulmaktadır (Stahel, 2016).

Dögüsel ekonominin gerçek hayata aktarımı kapalı çevrim tedarik zincirleri ile gerçekleşir. Ancak burada kasıt sadece

ürünlerin geri dönüşüm değil, zincirin her adımına çıkarılan atıkların tekrar kullanılmasıdır.

Stahel makalesinde döngüsel ekonomiye geçişin devletler tarafından desteklenmesi gerektiğini belirtmiştir. Çünkü Stahel’e göre döngüsel ekonomiye geçiş mühendislik, bilim, ekonomi başta olmak üzere birçok alanda çalışmalar gerçekleştirilmesini; sosyal, teknolojik ve ticari inovasyonları yapılmasını gerektirmektedir (Stahel, 2016).

Bazı ülkelerde ise eldeki kaynakları en etkin şekilde kullanmak ve ihtiyaçları kısıtlı kaynaklarla karşılamak sadece çevreci bir yaklaşım değil; bir zorunluluktur. Bu koşullarda yapılan inovasyonların amacı kullanıcıların temel ihtiyaçlarından ödün vermeksizin, lüks ve gösterişten arındırılmış, albenisi düşük olsa da hedef kitledeki müşterilerin ekonomik olarak ulaşabilecekleri ürünler üretmektir. Genellikle hedef kitle zaten ekonomik olarak güçlü olmayan ülkelerdeki en yoksul kitledir. Bu kitle ihtiyacını karşılamak için hali hazırda pazarda yer alan en ucuz ürün ya da hizmeti dahi satın alma gücünden yoksundur; genellikle piramidin dibi olarak nitelendirilirler. Bu kitlenin ihtiyaçlarına yönelik gerçekleştirilen inovasyonlar “tutumlu inovasyon” olarak adlandırılır. Başlangıç noktaları yoksul bireylerin temel ihtiyaçlarını karşılamak olan bu inovasyonlar arasında, beklenenin çok daha ötesine geçmeyi başarmış ve ticaretin yönünü değiştirerek tersine ticareti başlatmış çok başarılı ürünler de yer almaktadır (Basu, Banerjee, & Sweeny, 2013; Malodia, Gupta, & Jaiswal, 2019; M. B. Zeschky, Winterhalter, & Gassmann, 2014).

Dünya’nın bir kısmında döngüsel ekonomiye geçişin nasıl başarılılabileceği tartışılırken; başka bir coğrafyada tamamen zorunluluktan, genellikle hiçbir çevre kaygısı olmadan, tutumlu inovasyon olarak adlandırılan başarılı uygulamalar geliştirilmektedir. Her ne kadar bu iki kavram birbirleri ile aynı anlamda olmasalar da yakından ilişkilidir. Tutumlu inovasyon döngüsel ekonomiye giriş gibi birçok alanda etkili olabilecek önemli bir inovasyon türüdür.

1.1. Tutumlu İnovasyon

Economist dergisinin “First Break All The Rules” adlı makalesi ile popülerlik kazanan tutumlu inovasyon kavramı ilk olarak Tata Motor’un Nano modelinden bahsederken dönemin Renault-Nissan CEO’su Carlos Ghosn tarafından 2006 yılında kullanılmıştır. Mühendislik alandan doğan bu inovasyon türü temel amacı piramidin dibindeki kitlenin ihtiyaçlarını onların ekonomik güçlerinin yeteceği ürünler ya da hizmetler ile karşılamaktır. Ürün ya da hizmetin teknolojik karmaşıklığının düşürülmesi yolu ile maliyetlerin ve dolayısıyla fiyatın düşürülmesi sağlanır. Genel olarak tutumlu inovasyonların karakteristik özellikleri sağlık, mobilite, mobil çözümler içerme, basitlik, yeni ve yerel dağıtım kanallarının kullanılması, yerel kaynakların kullanılması, yeşil teknolojiler ve ödenebilirlik olarak sıralanabilir (Basu vd., 2013). Tutumlu inovasyon teknoloji, tasarım, yönetim, yönetişim, ekonomi gibi farklı alanları bir araya getiren tamamen yeni bir çok disiplinli bir araştırma alanı ortaya çıkarmıştır (Altamirano & Beers, 2017).

Tutumlu inovasyon denildiğinde ilk akla gelen örnekler Tata Motor’un Nano modeli ve General Electric’in elde taşınabilir elektrokardiyogram modelleri olan Mac 400® ve Mac 800® cihazlarıdır. Nano 2008-2018 yılları arasında üretilmiş ve 2000 dolarlık fiyatı ile Hindistan pazarında yoğun ilgi görmüş bir araçtır. Gelen yeni güvenlik düzenlemeleri ile birlikte firma modele daha fazla yatırım yapmaktan vazgeçmiş olsa da tutumlu inovasyonun güzel bir örneğidir (Gaur & Sahdev, 2015; “No Tata

Nano production since Jan; only 1 unit sold in last 9 months | Business Standard News”, 2019). General Electric’in Çin’deki arge faaliyetleri sonucunda geliştirdiği Mac 400® ve Mac 800® cihazları ise gelişmiş ülkelerin tutumlu inovasyon ile tanışması olarak tanımlanabilir. Sırt çantasına sığabilecek boyutta olan Mac 400®’te portatif bilet makinelerinde kullanılan yazıcılar kullanılmış ve cihazdaki buton sayısı dörde düşürülmüştür. “First Break All The Rules” adlı makalede cihazdan sadeleşmede bir baş yapıt olduğundan bahsedilmiştir (Ryder, 2010). Tutumlu inovasyon ürünleri kimi zamanda tabandan, yani halkın içinden çıkabilir. Traktöre dönüştürülmüş motosikletler ya da terakota buzdolapları halkın gerçekleştirdiği tutumlu inovasyonlara örnek olabilir (Gupta, 2006). Bu tip inovasyonlar aynı zamanda “grassroots innovation” adı altında da yazında yer almaktadır.

Haier firmasının Çin’deki küçük evlerde kullanılabilmesi için ürettiği küçük çamaşır makinesi ve Galanz’ın ürettiği küçük mikrodalga fırın Amerika pazarına girmeyi başarmış; böylelikle hedeflediği kitleden daha büyük bir kitleye ulaşmış örneklerdir (M. Zeschky, Widenmayer, & Gassmann, 2011). Bu tip gelişmekte olan ülkelerde geliştirilerek gelişmiş ülkelere ihraç edilen ürünler teknoloji ticaretinin yönünü değiştirdiğinden “Tersine İnovasyon” olarak adlandırılır. Bu açıdan bakıldığında tutumlu inovasyon ile tersine inovasyon arasındaki bağlantı açıktır (Malodia vd., 2019).

Tutumlu inovasyon hem toplumda sayıca kalabalık ancak göz ardı edilmiş bir kitlenin ihtiyaçlarının karşılanmasını sağladığından hem de girişimciler için yeni pazarlar oluşturarak ekonomik etkinler başlattığından topluma katkı sağlar (Altamirano & Beers, 2017; Rao, 2013).

Son olarak, tutumlu inovasyonun sadece ürün inovasyonu olması gerekmemektedir. Süreç inovasyonları, pazarlama inovasyonları ya da organizasyonel inovasyonlar da tutumlu inovasyon prensiplerine uygun olarak gerçekleştirilebilir (Santos, Borini, & Oliveira Júnior, 2020). Zaten tutumlu inovasyon örneklerine bakıldığında sadece ürün inovasyonu ile sınırlı kalmamakta; ürün ile birlikte yeni iş modelleri de geliştirilmektedir. Değer zinciri kaynakların zekice kullanılarak ve yüksek endüstriyel etkinlik sağlanarak yeniden oluşturulmaktadır. Temel başarı faktörlerinin arasında yerleşme bir başka deyişle yeni tedarik zincirlerinin kurulması da yer almaktadır (Tshidimba, Lateur, & Sneyers, 2015).

1.2. Tedarik Zinciri Yönetimi

Tedarik zinciri yönetimi 1980’lerin başlarında iş dünyasına danışmanlar tarafından tanıtılmış; 1990’ların başlarından itibaren de akademik yazında yer almaya başlamıştır. 2000’lerin başlarına kadar ise lojistik yönetimi ile tedarik zinciri yöntemi arasındaki fark net olarak ortaya konulmamış; tedarik zinciri yönetimi firma sınırlarının dışında müşteriler ve tedarikçiler ile bağlantıyı sağlayan lojistik faaliyetler olarak görülmüştür (Lambert & Cooper, 2000). 2000’lerin başında üzerinde uzlaşılmış bir tanımlı olmayan moda bir kelime olarak görülen tedarik zinciri yönetimi için yazında baskın olarak yer alan üç alternatif tanımlama oluşmuştur. Tedarik zinciri yönetimi ilk tanıma göre üreticilerin satın alma ve tedarik faaliyetleri, ikinci tanıma göre tüccar ve perakendecilerin nakliye ve lojistik faaliyetleri, son tanımda ise hammaddenin çıkarılmasından son kullanıcıya kadar giden ve geri dönüşümü de içeren, katma değer yaratan faaliyetler bütünüdür (Tan, 2001).

Günümüze geldiğimizde tedarik zinciri yöntemi müşteri için değer, firma için ise sürdürülebilir rekabet avantajı sağlamak amacıyla aktif olarak gerçekleştirilen tedarik zincirini yönetimi

faaliyetlerinin bütünü olarak tanımlanmaktadır (Handfield, 2020). Tedarik zincirleri ana firma, bu firmanın tedarikçileri, tedarikçilerin tedarikçileri, ana firmanın müşterileri, müşterilerin müşterileri gibi birçok katılımcıdan oluşur. Bu nedenle tedarik zinciri yönetimi de detaylı bağlantılardan oluşan bir nevi ilişkiler yönetimidir. Bu ilişkiler içinde fiziki varlıklar, finansal varlıklar ve bilgi akışı söz konusudur. Ürünlerin daha karmaşık hale gelmesi ile birlikte tedarik zincirleri zaman içerisinde genişlemiş çok katmanlı bir yapı haline gelmiş, karmaşıklaşmıştır. Bunun yanı sıra iç ve dış paydaşlar, yasa koyucular, müşteriler, gayri resmi organizasyonlar firmaları sürdürülebilir olmayan faaliyetlerinin sorumluluklarını almaya zorlamaktadır. Dolayısıyla tedarik zinciri yönetimi de günümüzde üzerinde çokça çalışılan konulardan biri haline gelmiştir (Jabbour, de Sousa Jabbour, & Sarkis, 2019).

Özellikle sürdürülebilirlik kavramı ile akış tipi tedarik zincirlerinden kapalı çevrim tedarik zincirlerine doğru bir yönelim ortaya çıkmıştır. Akış tipi tedarik zincirlerinde doğrusal bir değer zinciri vardır; malzeme akışı tek yönlü ve son müşteriye doğrudur. Ürün, yaşam döngüsünü tamamladığında çöp haline gelir. Geri dönüşüm sınırlıdır. Kapalı döngü değer zincirlerinde ise her adımda çıkan atıkların geri dönüştürülmesi ve tekrar kullanılması söz konusudur (Farooque, Zhang, Thürer, Qu, & Huisinigh, 2019).

Kapalı çevrim tedarik zincirlerinde tutumluluk gerekli geri dönüşüm tesislerinin zincire eklenmesi, ürünlerin geri toplanarak zincir içerisinde uygun noktalarda tekrar kullanılması ya da dönüştürülmesi, geri dönüşüm için gerekli taşımada zaten zincir içerisinde hareket halinde olan araçların boş seferlerinin kullanılmasının yeterli olacağı düşünülebilir. Ancak, bu yaklaşım sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için yeterli değildir. Daha yaratıcı çözümlerin bulunabilmesi için ürünlerin ortak tasarımı ve değer zincirinin yeniden yapılandırılması gerekmektedir. Konu özellikle satın alma literatüründe tartışılmış; tedarikçilerin tasarım süreçlerine dahil edilmesi, modüler üretimin artırılarak demontajı kolay ürünlerin geliştirilmesi ve modüllerin farklı ürünlerde kullanılabilmesi önerilmiştir (Fulconis vd., 2019).

Tutumlu inovasyon günümüzde popülerlik kazanan, sürdürülebilirlik çalışmaları ile yakından ilişkilendirilen bir kavramdır. Hem ürünün hem de üretim süreçlerinin sadeleştirilmesine dayanan bir inovasyon yaklaşımıdır. Tutumlu inovasyonun gerçekleştirilebilmesi için öncelikle bugüne kadar kesin olarak kabul edilmiş kuralların yıkılması, ihtiyaçlara ve kaynaklara yeni bir gözle bakılması ve ciddi anlamda yaratıcılığın kullanılması gerekmektedir. Başarı için mümkün olduğunca ulaşılabilir teknolojiler kullanılmalı, yerel kaynaklardan faydalanılmalı, dağıtım için yerel ağlar kullanılmalı ve yerel halkın ihtiyaçlarına odaklanılmalıdır. Tutumlu inovasyonun en önemli özelliğinin ciddi kaynak kısıtları altında gerçekleştirilmesi olduğu düşünülürse, tedarik zincirinin de yeniden tasarlanması kaçınılmazdır; zincirin baştan tasarlanması gerekmektedir.

1.3. Tutumlu İnovasyon ve Tedarik Zinciri

Tedarik zinciri yönetimi yazınında az da olsa çözüm olarak tutumlu inovasyonun önerildiği çalışmalar bulunmaktadır. Örneğin çevreye duyarlı ürünler ya da yeşil ürünler olarak pazara sürülmekte olan ürünler uzun zamandır hayatımızda yer almasına rağmen alanda çözülmesi gereken sorunlar hala mevcuttur. Bu ürünler, özellikle çevre duyarlılığı gelişmiş müşteri kitlesine yönelik olarak geliştirilmekte ve genellikle piyasadaki eşdeğer ürünlere göre daha yüksek fiyatlarla satılmaktadırlar. Bu ürünlerin kullanıcıları da çevreye daha az zarar vermek için aradaki fiyat

farkına katlanmayı kabul etmektedirler. Ancak, özellikle de ekonominin daraldığı dönemlerde tüketicilerin daha ucuz ürünlere yöneldiği ve yeşil ürünlerden hızla vazgeçebildiği bilinmektedir. Gerçek anlamda çevreye karşı duyarlılığın devam ettirilebilmesi için bu ürünlerin maliyetlerinin ve dolayısıyla fiyatlarının düşürülebilmesi gerekmektedir. Kullanılmakta olan klasik yeni ürün geliştirme metodolojilerinde ise ürün maliyetine gerekli önem verilmemektedir. Tutumlu inovasyonun yeşil ürünler geliştirmek için uygulanır hale gelmesi üç farklı yol ile yeşil ürünleri daha ekonomik hale getirebilir. İlk olarak tutumlu inovasyonun daha az malzeme ile gerçekleştiriliyor olması malzeme maliyetinde düşüş sağlayabilir. Öncelikle tutumlu inovasyon ürünleri geliştirilirken hali hazırda pazarda erişilebilir komponentler tercih edilmekte; ürüne özel komponent üretimi yapılmamaktadır. Bu da komponentin erişilebilir olmasını sağlarken fiyat belirsizliğini ortadan kaldırmakta ayrıca yenileme ve tamiratın daha kolay yapmasını sağlamaktadır. İkinci olarak tutumlu inovasyon genellikle malzeme, altyapı ve benzeri eksikliklerden kaynaklanan sorunların aşılmasına odaklandığından tedarik zincirlerinin yeniden tasarlanmasını, lokal kaynaklardan daha fazla faydalanılmasını ve dönüştürülmüş ürün kullanımında artış sağlar. Son olarak tutumlu inovasyon teknoloji dikicilik (technology cobbling) olarak adlandırılan bir yaklaşım izler. Bu yaklaşımda mevcut altyapı ve teknolojiler tasarım amaçlarının dışında da kullanılarak üretim süreçleri oluşturulur. Dolayısıyla yeni teknolojilere yatırımı en aza indirgenir. Teknolojik yatırımın azalması da maliyetlere düşüş olarak yansır (Sharma & Iyer, 2012).

Döngüsel ekonomiyi destekleyen kavramlardan biri de ürün yerine ürün ve hizmetin bir araya getirildiği çözüm paketlerinin satılmasıdır. Xerox, Caterpillar gibi firmaların hizmet modelleri döngüsel ekonomiye uygun, güzel örnekler olarak verilebilir. Bu modellerde tüketici ürünleri değil ürünleri kullanma hakkını satın alır. Hurda ürün satıcı firmanın sorumluluğundadır (Stahel, 2016).

Geçtiğimiz yıllarda özellikle Avrupa'lı üreticiler rekabet avantajı yaratmak amacıyla müşterilerine ürün ve hizmetlerin bir araya getirilmesi ile oluşan paketler sunmaya başlamışlardır. Bu farklılaşma stratejisi ile hedef müşterilerin spesifik ihtiyaçlarını karşılamayı ve rakiplerinden öne çıkmayı hedeflemektedirler. Müşteri odaklı bu stratejinin başarılı olabilmesi için değer yaratma sürecinde müşterilerin aktif rol oynaması ve müşteriler ile uzun vadeli iş birliklerinin oluşturulmasını gerektirdiğinden iş modellerinin ve değer zincirlerinin de yeniden tanımlanmasını gerekmektedir. Colledani ve diğerleri (2016) ProRegio projesi ile, özellikle global ölçekte üretim yapan firmaların bölgesel olarak farklılaşan müşteri beklentilerini, üretim sistemlerinin etkinliğinden ödün vermeden gerçekleştirebilmeleri için bilgi ve iletişim teknolojilerine (BIT) dayan bir tutumlu inovasyon ve üretim zekası oluşturmayı hedeflemiştir. Çalışmada önerilen yapı ile BIT'e dayalı, inovasyon maliyetini düşüren, gereksiz düzeyde mühendislik, yoğun tasarım ve üretim süreçlerinden arındırılmış, müşteri odaklı sistemler oluşturulması hedeflenmiştir. Müşteri kitlesinin ihtiyaçlarına yönelik ürün-hizmet paketlerinin oluşturulabilmesi için tutumlu inovasyon prensiplerinin uygulanması; üretim etkinliğinin korunabilmesi için ise BİT altyapısı kullanılarak üretim sistemlerinin entegrasyonunun sağlanması ve bulut teknolojileri, arttırılmış gerçeklik araçları, dijital ve sanal fabrikalar, veri analitiği ve simülasyon gibi üretim zekasını oluşturan bileşenlerinden faydalanılması ön görülmüştür. Tutumlu inovasyon, önerilen yapıda müşteriye özel ürün-hizmet paketinin sıfırdan tasarlanmak yerine bölgesel ihtiyaçların belirlenerek temel ürünün tanımlanması; sonrasında müşteri

taleplerinin temel ürüne eklenmesi ile ürünün müşteriye özel hale getirilmesi neticesinde gerçekleşmektedir. Önerilen sistemin tam zamanında üretim felsefesini kitlesel bireyselleştirme ile birleştirmeyi hedeflediği söylenebilir. Klasik anlamdaki tutumlu inovasyon örnekleri ile karşılaştırıldığında ise ciddi teknoloji yatırımı gerektirmektedir.

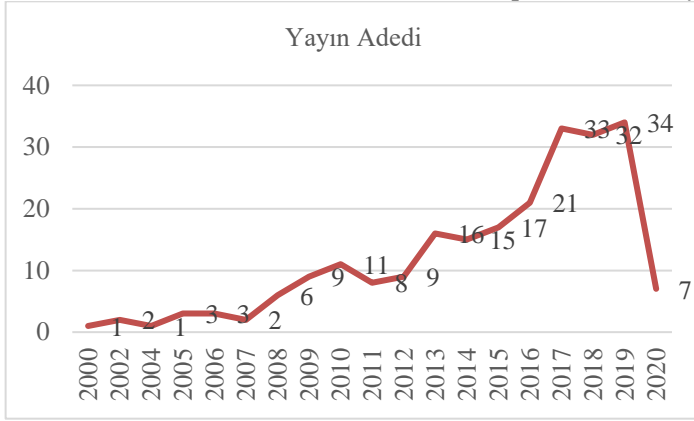
Bu çalışmada amaç tutumlu inovasyonun tedarik zinciri alanındaki yerini incelemek, iki kavram arasındaki etkileşimi ortaya koymaktır.

2. Materyal ve Metot

Çalışmanın amacı doğrultusunda 3 Haziran 2020 tarihinde Web of Science (WoS) ve Scopus veri tabanlarından konu ile ilgili makalelerin verileri çekilmiştir. WoS veritabanından 154 Scopus veritabanından ise 141 yayının verisine ulaşılmış, tekrarlanan makaleler elendikten sonra toplam 235 yayının verisi ile analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışmada anahtar kelimeler için eşdizimlilik analizi kullanılarak kavramsal yapı ortaya çıkarılmıştır. Analizlerde Bibliometrix R paketi kullanılmıştır. Veri seti ile ilgili temel istatistikler Tablo 1'de yer almaktadır. Alanda yapılan yayın sayısı artarak devam etmektedir. Yıllık yayın adetleri Şekil 1'de görülmektedir.

Tablo 1: Temel İstatistikler

Kaynak sayısı	165
Doküman sayısı	235
Makale	141
Kitap içi makale	1
Erken erişim makale	5
Makale, bildiri	2
Kitap	1
Kitap bölümü	5
Konferans bildirisi	25
Konferans inceleme	12
Bildiri	26
İnceleme	17
Zaman aralığı	2000:20
Veri tabanı anahtar kelime sayısı (ID)	1060
Yazar anahtar kelime sayısı (DE)	737
Yazar sayısı	603
Tek yazarlı yayın sayısı	44
Yayın başına ortalama yazar sayısı	2.57
Yayın başına ortak yazar sayısı	2.92
Ortaklık indeksi	3.01



Şekil 1: Yıllık Yayın Adetleri

Veritabanlarında kullanılan sorgular sırasıyla aşağıdaki gibidir;

WoS sorgusu:

TS= (innovation AND supply AND chain AND (frugal OR grassroots OR reverse))

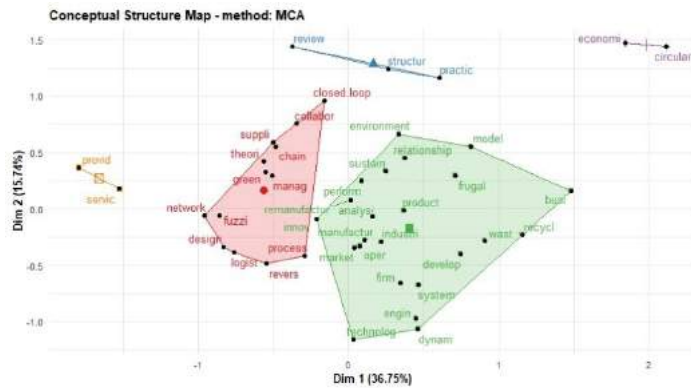
“Timespan: All years. Indexes: SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, CPCI-S, CPCI-SSH, BKCI-S, BKCI-SSH, ESCI.”

Scopus sorgusu:

“TITLE-ABS-KEY (innovation AND supply AND chain AND (frugal OR grassroots OR reverse))”.

Eşdizimlilik analizinde minimum sıklık değeri olarak altı belirlenmiş, sıklık değeri altıdan az olan anahtar kelimeler analize dahil edilmemiştir. Faktör analizinde çoklu uyum analizi kullanılmış ve kümeleme analizi ile 5 küme ortaya çıkarılmıştır. Analizlerde toplam 43 kelime kullanılmış ve kullanılmadan önce gövdeleme (stemming) uygulanarak kelimeler köklerine indirgenmiştir.

Analiz sonucunda ortaya çıkan kavramsal yapı Şekil 2’de görülmektedir.



Şekil 2: Kavramsal Yapı

Kümelerin içerdiği kelimeler ise Tablo 2’de yer almaktadır.

Kümeler	Terimler
1	suppli, chain, manag, green, closed.loop, theori, revers, logist, collabor, fuzzi, process, network, design
2	structur, practic, review
3	model, analysi, recycl, innov, environment, sustain, perform, frugal, manufactur, oper, product, busi, develop, system, industri, market, remanufactur, wast, firm, technolog, relationship, dynam, engin
4	circular, economi
5	servic, provid

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Eşdizimlilik Analizi Sonuçları

Küme 1’de tedarik zinciri yönetimi kavramı öne çıkmaktadır. Bu kavram tutumlu inovasyon ile birlikte anıldığında genellikle yeşil ürünler, kapalı çevrim tedarik zincirleri, tersine lojistik ve ağ optimizasyonu gündeme gelmektedir. Küme 1’deki çalışmalara yeniden üretim için ürünleri geri toplama ağlarının tasarlanması (Savaskan, Bhattacharya, & Van Wassenhove, 2004), yeşil tedarik zinciri yönetimi (Muduli, Govindan, Barve, Kannan, & Geng, 2013) ve tersine lojistik üzerine yapılmış yazın taramaları örnek olarak verilebilir. Tutumlu inovasyon ile dolaylı yollardan bağlantılı ancak inovasyonun açık açık tartışılmadığı çalışmaların toplandığı bir küme olarak tanımlanabilir.

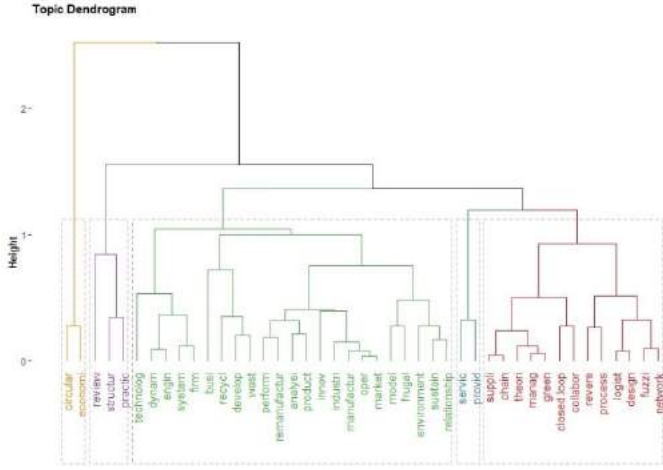
İkinci küme küçük bir küme olup, klasik tedarik zincirlerinin ekoloji dostu hale getirilmesine yönelik çalışmalardan oluşmaktadır.

Üçüncü küme gerçek anlamda çalışmanın amacına uygun çalışmaların yer aldığı kümedir. Dönüşüm, yeniden üretim, sürdürülebilirlik, gibi terimler bu kümede toplanmıştır. Tüm bu kümelerin bir arada bulunması, az sayıda gerçekleştirilmiş çalışmada sürdürülebilir tedarik zincirlerinin bir bütün olarak ele alındığını göstermektedir. Çalışmalar tedarik zincirlerinin belirli adımlarına odaklanmak yerine sistem yaklaşımını benimsemiştir.

Dördüncü küme döngüsel ekonominin olduğu çalışmalardan oluşmaktadır. Döngüsel ekonomi açısından bakıldığında malzemenin atom seviyesinde ayrıştırılarak yeniden kullanılması hedeflenmektedir. Dolayısıyla döngüsel ekonominin sürdürülebilirlik hedefleri, günümüzdeki sürdürülebilir tedarik zinciri kavramından daha ötededir. Bu nedenle döngüsel ekonomi ayrı bir küme olarak ortaya çıkmış olabilir.

Beşinci küme lojistik hizmeti sağlayıcılardaki inovatif faaliyetlere odaklanmış çalışmaları içermektedir.

Kümeler arasındaki ilişki ise Şekil 3’te verilmiş olan dendrogramda görülmektedir. Sadece küme 4, diğer kümelere net olarak ayrılmaktadır. Seçilecek sınır değerinin artırılması ile iki küme bir sonuç da elde edilebilir.



Şekil 3: Dendrogram

3.2. Tartışma

Bulgular tedarik zincirinde tutumlu inovasyonun en fazla sürdürülebilirlik daha sonrasında ise yeşil ürünler ve döngüsel ekonomi ile birlikte anıldığı göstermektedir. Elde edilen yayın sayısında da anlaşılabilirliği gibi konu çok çalışılmış bir konu değildir; çalışmaya açık birçok noktası bulunmaktadır.

Tedarik zincirlerinde sürdürülebilirlik genellikle çevresel boyutta ele alınmakta sosyal boyut daha geride kalmaktadır. Sosyal boyutta sürdürülebilirliğin sağlanmasında öne çıkan uygulamalardan biri de, toplumda piramidin dibinde olan gruba yönelik üretim yapan firmaların tasarım süreçlerine hedef kitlelerinin de katılmasını sağlaması ve bu grup için de sürdürülebilir değer yaratılmasıdır. Müşterilerin tasarım süreçlerine katılmasında temel varsayım bilinçli, ilgili, meraklı müşteri kitlesinin beklentilerini paylaşacağıdır. Ancak piramidin dibi olarak nitelendirilen kitlede bu varsayım çok geçerli değildir. Farklı kültür, eğitim ve maddi hususlar gibi birçok etken ile firmalara karşı duyulan güvensizlik müşterilerin tasarım süreçlerine katılmasını güçleştirmektedir. Knizkov ve Arlinghaus 135 birlikte tasarım vakası incelemişler ve sonuç olarak birlikte tasarım uygulamalarının sosyal boyutta olmasa da ekonomik boyutta kazanımları olduğu sonucuna varmışlar. Araştırmacılar birlikte tasarımın bu pazarlarda beklenen etkiyi oluşturabilmesi öncelikle bu pazarlardaki üretim faaliyetlerini incelenmesi ve tedarik zincirinde ortak tasarımın fayda yaratabileceği aşamaların tanımlanması gerektiğini savunmuşlardır (2019). Bulgularımızda da tasarımın terimler arasında yer almaması aslında tedarik zincirlerinde tutumlu inovasyonun yeterince yer almadığını göstermektedir. Geri kazanımın daha verimli olması için, tasarım aşamasında geri kazanılması kolay ve ekonomik ürünlerin tasarlanmasına odaklanılmalıdır.

Kapalı çevrim tedarik zincirleri dolaylı yollardan tutumlu inovasyonu tedarik zincirine entegre etmiştir (Fulconis vd., 2019). Sürdürülebilir tedarik zincirleri ile tutumlu inovasyon arasında doğal bir uyum bulunmaktadır. Özellikle de gelişmekte olan ekonomilerin kaynak ve maliyet kısıtlarını aşmaları için tutumluluk yaklaşımını içselleştirmeleri gerekmektedir. Sürdürülebilir odaklılık ise ekonomik, çevresel ve sosyal sorunları yöneterek bir marka geliştirme ve küresel pazarlara açılabilme sağlar (Shibin vd., 2018).

Rocca tezinde 109 tutumlu inovasyon ürününü incelemiş ve tutumlu inovasyon tedarik zincirinin çerçevesini ortaya koymaya çalışmıştır. Rocca'nın da tezinde belirttiği gibi tutumlu inovasyon

faaliyetleri sonucu ortaya çıkmış birçok ürün olsa da tutumlu inovasyon ile tedarik zinciri arasındaki ilişki çok az yayında incelenmiştir. Bu yayınların büyük kısmında araştırmacılar ikili arasındaki ilişkiyi kavramsal olarak incelemiş ve gelecek çalışmalarda saha araştırmalarının da yapılması gerektiğini vurgulayarak çalışmalarını sonlandırmışlardır. Tutumlu inovasyonun itici faktörleri her ne kadar tanımlanmış olsa da hala genel kabul görmüş bir sistematigi bulunmamaktadır. Bu nedenle firmalar hem tutumlu inovasyon faaliyetleri göstermekte hem tutumlu inovasyonu tedarik zincirine yaymakta tedirgin davranmaktadırlar (Rocca, 2016).

Ancak Dünya genelinde yaşanan ekonomik sorunlar ve son dönemde yaşamış olduğumuz pandemi elimizdeki kaynakları kullanarak ihtiyaçlarımızı karşılayabilmenin ne kadar önemli olduğunu göstermiştir. Pandemi dönemi ile birlikte birçok tedarik zinciri sekteye uğrarken, talep yapısında da büyük değişiklikler ortaya çıkmıştır. Pandemi ile birlikte tedarik zincirlerin tekrar tasarlanması gerekliliği net olarak görülmüştür. Ivanov (2020) pandemi sonrası kaleme aldığı makalesinde "Yaşayabilen Tedarik Zinciri" (viable supply chain) kavramını ortaya atmış ve yaşayabilen tedarik zincirlerinin çevik, dirençli ve sürdürülebilir olması gerektiğini savunmuştur. Ivanov'un önerdiği yaşayabilen tedarik zinciri ile bu çalışmada değinilmiş olan tüm yetkinler uyum göstermektedir. Dinamik yetkinlikler yeni koşullara uyum sağlanmasında, tutumlu inovasyon kaynak kısıtları altında ihtiyaçların giderilmesinde, sürdürülebilirlik ise özellikle ekonomik ve sosyal boyutları ile öne çıkmıştır.

4. Sonuç

Çalışmada çok az sayıda yayına ulaşılması konunun önemli olmadığı sonucuna götürmemelidir. Dünyanın değişik yerlerinde tutumlu inovasyonun yaygınlaştırılması için faaliyet gösteren organizasyonlar mevcuttur (Center for Frugal Innovation, 2020). Özellikle tasarım süreçlerinin tedarik zinciri içinde tartışılmaması alınması gereken çok yol olduğunu göstermektedir. Yerel ekonominin canlandırılması, toplumda gelir seviyesi en düşük düzeyde olanlara yönelik ürün ve hizmetlerin oluşturulması ile toplumun refahının artırılması, çevreye duyarlı olması gibi birçok özelliği ile tutumlu inovasyon, yaygınlaşması gereken bir inovasyon türüdür. Yaygınlaşmanın önündeki en önemli engel ise tanımlanmış bir sistematiginin bulunmamasıdır. İleride tutumlu inovasyonun sistematik olarak gerçekleştirilmesi doğrultusunda oluşturulacak olan yol haritaları uygun tedarik zinciri tasarımlarının da gerçekleştirilmesi açısından önemlidir. Tutumlu inovasyonun en karakteristik özelliği içerdiği yaratıcılıktır. Bu yaratıcılığın tedarik zincirinin tamamına yayılması birçok inovasyonun gerçekleştirilmesine uygun ortam sağlayabilir.

Kaynakça

- Altamirano, M. A., & Beers, C. P. V. Van. (2017). Frugal Innovations in Technological and Institutional Infrastructure: Impact of Mobile Phone Technology on Productivity, Public Service Provision and Inclusiveness. *The European Journal of Development Research*, 30(1), 84–107.
- Basu, R., Banerjee, P., & Sweeny, E. (2013). Frugal Innovation: Core Competencies to Address Global Sustainability. *Journal of Management for Global Sustainability*, 1(2), 63–82.
- Beske, P. (2012). Dynamic capabilities and sustainable supply chain management. *International Journal of Physical*

- Distribution and Logistics Management*, 42(4), 372–387.
- Center for Frugal Innovation. (2020). Partners. Tarihinde 02 Haziran 2020, adresinden erişildi https://cfi.global-innovation.net/?page_id=37
- Colledani, M., Silipo, L., Yemane, A., Lanza, G., Bürgin, J., Hochdörffer, J., ... Belkadi, F. (2016). Technology-based Product-services for Supporting Frugal Innovation. *Procedia CIRP*, 47, 126–131.
- Farooque, M., Zhang, A., Thüerer, M., Qu, T., & Huisingh, D. (2019). Circular supply chain management: A definition and structured literature review. *Journal of Cleaner Production*, 228(July), 882–900.
- Fulconis, F., Pache, G., & Reynaud, E. (2019). Frugal supply chains: a managerial and societal perspective. *Society and Business Review*, 14(3), 228–241.
- Gaur, L., & Sahdev, S. L. (2015). Frugal innovation in India: The case of Tata Nano. *International Journal of Applied Engineering Research*, 10(7), 17411–17420.
- Gupta, A. K. (2006). From sink to source: The Honey Bee Network documents indigenous knowledge and innovations in India. *Innovations: Technology, Governance, Globalization*, 1(3), 49–66.
- Handfield, R. (2020). What is supply chain management (SCM)?
- Hood, B. (2016). Make Recycled Goods Covetable. *Nature*, 531(7595), 438–440.
- Ivanov, D. (2020). Viable supply chain model: integrating agility, resilience and sustainability perspectives. Lessons from and thinking beyond the COVID-19 pandemic. *Annals of Operations Research*.
- Jabbour, C. J. C., de Sousa Jabbour, A. B. L., & Sarkis, J. (2019). Unlocking effective multi-tier supply chain management for sustainability through quantitative modeling: Lessons learned and discoveries to be made. *International Journal of Production Economics*, 217(August 2018), 11–30.
- Knizkov, S., & Arlinghaus, J. C. (2019). Is co-creation always sustainable? Empirical exploration of co-creation patterns, practices, and outcomes in bottom of the pyramid markets. *Sustainability (Switzerland)*, 11(21).
- Lambert, D. M., & Cooper, M. C. (2000). Issues in supply chain management in Indian agriculture. *Industrial Marketing Management*, 29, 65–83.
- Malodia, S., Gupta, S., & Jaiswal, A. K. (2019). Reverse innovation: a conceptual framework. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 1–21.
- Muduli, K., Govindan, K., Barve, A., Kannan, D., & Geng, Y. (2013). Role of behavioural factors in green supply chain management implementation in Indian mining industries. *Resources, Conservation and Recycling*, 76, 50–60.
- No Tata Nano production since Jan; only 1 unit sold in last 9 months | Business Standard News. (2019). *Business Standard*, (December 2018). Tarihinde adresinden erişildi https://www.business-standard.com/article/pti-stories/no-nano-production-since-jan-only-1-unit-sold-in-last-6-months-119070201018_1.html
- Rao, B. C. (2013). How disruptive is frugal? *Technology in Society*, 35(1), 65–73.
- Rocca, F. C. (2016). *Supply Chain Management for Frugal Innovation Products*. Tecnico Lisboa.
- Rodríguez, L. A., & Cunha, C. (2017). Effects of dynamic capabilities on frugal innovation: A conceptual framework for sustainable supply chain application. *24th International Conference on Production Research, ICPR 2017*, (Icpr), 388–393.
- Ryder, B. (2010). First break all the rules. *The Economist*, 395(8678), 1–11.
- Santos, L. L., Borini, F. M., & Oliveira Júnior, M. de M. (2020). In search of the frugal innovation strategy. *Review of International Business and Strategy*.
- Savaskan, R. C., Bhattacharya, S., & Van Wassenhove, L. N. (2004). Closed-Loop Supply Chain Models with Product Remanufacturing. *Management Science*, 50(2), 239–252.
- Sharma, A., & Iyer, G. R. (2012). Resource-constrained product development: Implications for green marketing and green supply chains. *Industrial Marketing Management*, 41(4), 599–608.
- Shibin, K. T., Dubey, R., Gunasekaran, A., Luo, Z., Papadopoulos, T., & Roubaud, D. (2018). Frugal innovation for supply chain sustainability in SMEs: multi-method research design. *Production Planning and Control*, 29(11), 908–927.
- Stahel, W. R. (2016). The circular economy. *Nature*, 531(7595), 435–438.
- Tan, K. C. (2001). A framework of supply chain management literature. *European Journal of Purchasing and Supply Management*, 7(1), 39–48.
- Tshidimba, D., Lateur, F., & Sneyers, N. (2015). FRUGAL PRODUCTS: Western companies need to act “FRUGAL” to successfully sell FRUGAL products in emerging markets.
- Zeschky, M. B., Winterhalter, S., & Gassmann, O. (2014). From Cost to Frugal And Reverse Innovation: Mapping the Field and Implications for Global Competitiveness. *Research-Technology Management*, 57(4), 20–27.
- Zeschky, M., Widenmayer, B., & Gassmann, O. (2011). Frugal Innovation in Emerging Markets. *Research-Technology Management*, 54(4), 38–45.



An Automated Bug Triaging Approach using Deep Learning: A Replication Study

Eray Tüzün^{*}, Emre Doğan², Alperen Çetin³

^{1*} Bilkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Ankara Türkiye (ORCID: 0000-0002-5550-7816), eraytuzun@cs.bilkent.edu.tr

² Bilkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2558-7624), emre.dogan@bilkent.edu.tr

³ Bilkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9879-8599), alperen.cetin@bilkent.edu.tr

(First received 30 September 2020 and in final form 12 January 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.781341)

ATIF/REFERENCE: Tüzün E., Doğan E., Çetin A. (2021). An Automated Bug Triaging Approach using Deep Learning: A Replication Study. *European Journal of Science and Technology*, (21), 268-274.

Abstract

Bug management is the process to identify and fix bugs. In the bug management process, after a bug is identified, it needs to be triaged. Bug triaging is the process of prioritizing bugs and assigning an appropriate developer for a given bug. The main task in bug triaging is to predict the most appropriate developer to fix a software bug from a given bug report. This problem can be defined as a classification problem in which textual bug attributes (bug title, description etc.) are inputs and the available developer (class label) is the output. Since manual bug triaging is a time consuming process, there have been several bug triaging algorithms to automate this process. One of the latest successful algorithms to address this problem is the Deep Triage. It employs Deep Bidirectional Recurrent Neural Network with Attention (DBRNN-A) approach for this classification task.

In this study, we implement an improved version of the DeepTriage. To improve the performance of the model, three contributions are made to the original implementation: (1) Using GRU instead of LSTM to fasten the training process by using a larger batch size with the same memory usage, (2) Using a corpus combining the data from different datasets to create a more generalized model, (3) Adding extra dense layers before the multiclass classification to improve the results. After running the experiments, we achieved the state of the art results in Mozilla Firefox dataset, an accuracy of 46.6%. In the Chromium dataset, we get a higher accuracy (44.0%) than the original accuracy from the paper (42.7%). The resulting model and its source code is made publicly available for future research in this area.

Keywords: recurrent neural networks, long short term memory, gated recurrent unit, bug triaging.

Derin Öğrenme ile Otomatik Hata Triyajlama: Bir Replikasyon Çalışması

Öz

Hata yönetimi hataları belirleme ve çözme sürecidir. Hata yönetimi sürecinde, bir hatanın belirlendikten sonra triyajlanması gerekir. Hata triyajlama süreci hatanın önceliklendirilmesi ve hatanın uygun bir geliştiriciye atanması şeklinde gerçekleşir. Bu sürecin asıl kısmı verilen bir hata raporunu çözmek için en uygun geliştiriciyi tahmin edebilmektir. Bu hata raporlarının metinsel kısımlarının (hata başlığı, hata tanımı) girdi olduğu ve önerilecek olan geliştiricilerin de çıktı olduğu bir sınıflandırma problemi olarak tanımlanabilir. Otomatik olarak yapılmayan hata triyajlama zaman alan bir süreç olduğundan, hata triyajlamayı otomatik hale getirmek üzerine birçok algoritma

* Corresponding Author: eraytuzun@cs.bilkent.edu.tr

bulunmaktadır. Geçtiğimiz yıllarda bu problem üzerinde çalışan en son başarılı modellerden biri de Deep Triage'dır. Bu model sınıflandırma için derin, iki yönlü ve dikkatli tekrarlayan sinir ağı (DBRNN-A) kullanmaktadır.

Bu çalışmada literatürdeki başarılı bir hata triyajlama yöntemi olan Deep Triage'ın geliştirilmiş bir versiyonunu gerçekleştirilmiştir. Makalede önceden önerilen modelin performansını artırmak için original çalışmaya üç katkıda bulunduk: (1) Aynı bellek miktarıyla daha büyük veri grupları kullanarak eğitime zamanını düşürmek için LSTM yerine GRU kullanma, (2) Daha genel bir model oluşturmak için farklı veri setlerinin birleşmesinden oluşan bir sözlük kullanma ve (3) Sonuçları iyileştirmek için çok sınıflı sınıflandırmadan önce ilave sinir ağı katmanları koyma. Gerçekleştirdiğimiz deneylerin sonucunda Mozilla Firefox veri setinde %46.6 doğruluk ile original çalışmayla aynı sonuçları elde ettik. Chromium ver setinde ise orijinal çalışmadan (%42.7) daha yüksek bir doğruluk (%44.0) elde ettik. Bu konu hakkındaki ilerideki çalışmalar için geliştirilmiş model ve kaynak kodu paylaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: tekrarlayan sinir ağı, uzun kısa süreli bellek, kapılı tekrarlayan birim, hata triyajlama

1. Introduction

In a software project, it is an important task to assign an appropriate developer who could potentially provide a fix for a given bug report from both developer's and organization's perspectives. A significant amount of time is spent by software developers to understand, identify and fix the bug. A poor developer assignment for a bug report might reduce the overall efficiency of the process. On the other hand, from the organization's perspective, bug fixing time is important as the corresponding bug might block the working of a product/service and cost a large amount of money. For all these reasons, assigning the most appropriate developer for a bug report, one of the primary tasks of bug triaging process, is an important and active research area.

Bug triaging process is simply a classification problem in which bug title and bug description are taken as input, mapping them to one of the available developers. There are already some studies employing different machine learning algorithms to solve this problem in the literature. The major difficulty faced in these studies is that the input data (e.g. bug title and description) is in text format and hard to represent. Mani et al. (Mani, Sankaran, & Aralikkatte, 2019) brought a new approach to represent bug reports by extracting features with an attention based deep bidirectional recurrent neural network (DBRNN-A) model that learns syntactic and semantic features from long word sequences in an unsupervised manner. In this study, we replicate their study and make 3 contributions to improve the original model: (1) Using Gated Recurrent Unit (GRU) instead of Long-Short Term Memory (LSTM) to fasten the training process by using fewer parameters, (2) Using a combined corpus from all datasets to improve the learning process, and (3) Changing the dense layer structure of to improve classification results.

The rest of the paper is organized as follows. Section II gives a brief information on the background. Section III gives details about the dataset, our approach and the implementation details. In Section IV, our contributions are discussed. Finally, section V and VI states final results and conclusion.

2. Background

2.1. Bug Triage

The term of bug triage is the process of going through a list of bugs to find bugs that need assistance, escalation, or follow-up ("QA: Quality assurance at Mozilla - Mozilla | MDN," n.d.). There are different types of bugs and each of them needs to be treated differently. The goal of triaging is to evaluate, prioritize and assign the resolution of bugs to the developers.

One of the most time-consuming parts of this process is to find the best developer for a given bug. A critical bug might cause the company to lose a large amount of money. So, it is an important task to assign the bug to the best developer who can solve the bug in the shortest amount of time and in a way that it will not cause other bugs in the future. In the earlier times, this task was completed in a manual manner. A developer was responsible for assigning the bugs to the most suitable of other developers. This method is still applied in small companies. But as the size of developers and bugs increase, it becomes harder to find the best match. This problem arises the necessity of automating this process. In the following subsection, the methods of automated bug triaging will be discussed.

2.2. Automated Bug Triaging Studies

There are several studies on automating the triage process. Most of these studies propose a machine learning based approach. They train their model by the data collected from open source and proprietary software projects. Cubranic et al. (Cubranic & Murphy, 2004) and Anvik et al. (Anvik, Hiew, & Murphy, 2006) proposed a Naïve Bayesian classifier approach to apply text classification on bug reports in order to predict the relevant developers. Jeong et al. (Jeong, Kim, & Zimmermann, 2009) proposed a bug tossing graph approach based on Markov chains from the knowledge of reassigning. Xuan et al. (Xuan, Jiang, Ren, Yan, & Luo, 2010) proposed a semi-supervised text classification model for bug triaging. Different from the previous studies, Deep Triage (Mani et al., 2019) extracts a novel bug report representation from bug reports by using an Attention Based Deep Bidirectional Recurrent Neural Network (DBRNN-A). These extracted features are used as input to multi-class classifier in order to predict the best developer.

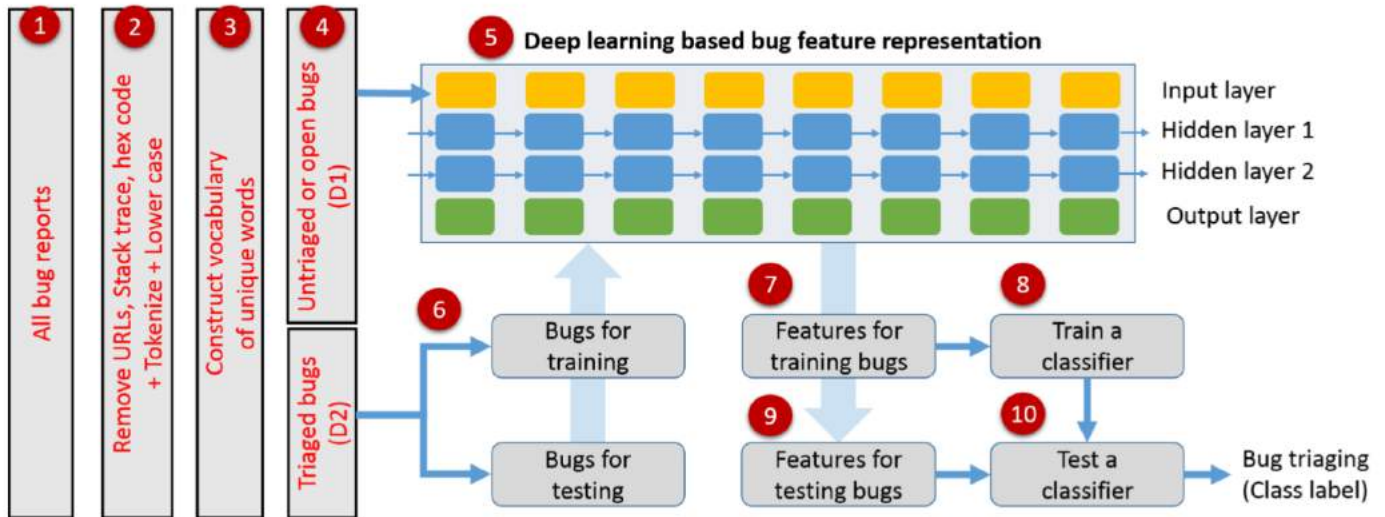


Figure 1. The flow diagram of the overall proposed algorithm highlighting the important steps (Mani et al., 2019)

3. Our Approach

3.1. Dataset

Our dataset consists of bug reports from three open-source systems: Google Chromium, Mozilla Core and Mozilla Firefox. The details of data collecting process are mentioned in the paper (Mani et al., 2019). The authors provide the dataset available online. In total, there are 383,104 bug reports from Google Chromium, 314,388 bug reports from Mozilla Core, and 162,307 bug reports from Mozilla Firefox. All datasets have attributes id, issue id, issue title, reported time, owner, description and status. Chromium dataset has another attribute type and the other Mozilla datasets have another attribute resolution. In DBRNN-A model, only owner, title, description and status attributes are used. We shared dataset links and brief explanation about dataset contents in the GitHub repository.[†]

3.2. Preprocessing

The bug report datasets having *title*, *description*, *reported time*, *status* and *owner* are shared online by the authors (Mani et al., 2019) in JSON format. Before using the text in *title* and *description* fields of the bug reports, some parts of them should be removed. First, URLs, stack traces and the hex codes are removed, and all characters are changed to lower case. After that, words are tokenized, then all punctuation and None words are deleted. The same process is followed for both open bug reports data and closed bug reports data. Second step in Figure 1 is the preprocessing step.

3.3. Word Embedding

Simple approaches like bag-of-words and n-grams are not sufficient to represent the features of bug reports. The problem with bag-of-words approach is that it loses the ordering of words

in the contextual manner and the semantic similarity between synonymous words. On the other hand, n-grams model offers a better bug report representation but it fails to deal with high dimensionality and sparse data (Hindle, Barr, Su, Gabel, & Devanbu, 2012). Since these two representations are not good enough to represent a bug report, the authors (Mani et al., 2019) came up with a new approach to represent bug reports, *Word2Vec embedding* (Mikolov, Chen, Corrado, & Dean, 2013), such that disadvantages of bag of words and n-gram representations will be prevented. At the end, the final vocabulary is created from a set of unique words that occurred for at least k-times in open bug reports data by using Word2Vec, and the owner information is acquired from the *owner* label in the closed bug reports. Third step in Figure 1 is the word embedding step.

3.4. Model Description

DBRNN-A (Mani et al., 2019) works in the following way: First, the model learns feature representation of bug reports from untriaged bugs in an unsupervised manner by using long short-term memory (LSTM) cells. Then, attention mechanism is used, because all words in the content may not be useful in the classification task. Also, bidirectional RNN considers the words in both forward and backward directions and concatenates both representations. By representing the triaged bugs using the embeddings of untriaged bugs, then training DBRNN-A model with triaged bugs, the model learns how to extract features. At the end, a softmax classifier is used for classification using these features. Overall structure of the whole model can be seen in Figure 1. Also, detailed structure of DBRNN-A is shown in Figure 2.

[†] <https://anonymous.4open.science/r/c1f33d60-67e9-480f-a3c9-8b9a0982a85c/>

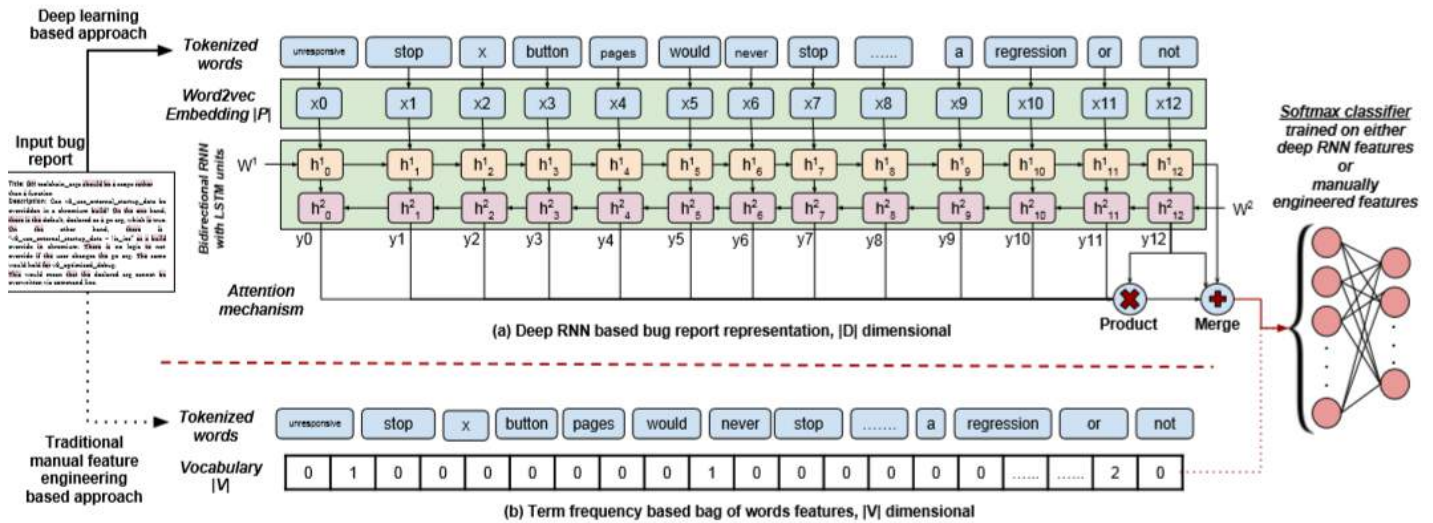


Figure 2. Detailed explanation of the working of a deep bidirectional Recurrent Neural Network (RNN) with LSTM units. (from Mani et al., 2019)

3.5. Implementation Details

The starting point of our implementation is the source code[†] shared by the original paper (Mani et al., 2019). In the shared source code, there was no information about the versions of the Python libraries used. Also, there was no repository including all the source code files, the website shares the source code as snippets. Therefore, we replicated the results step by step and refactored some parts. In the following, we explain the details of our implementation.

In preprocessing, cleaning unnecessary parts are handled by using standard Python RegEx library[§], and Stanford NLTK** 3.4 is used for word tokenization. In word embedding, vocabulary is created by using Word2Vec from Gensim^{††} 3.7.1. The implementation of the model is done in Keras^{†††} 2.2.4 with the backend Tensorflow^{§§} 1.13.1. When it comes to the soft attention layer in DBRNN-A, we had a problem with the soft attention layer^{***} used in DeepTriage. Then, we implemented a similar soft attention layer with the help of a discussion^{††††} from StackOverflow. Finally, we had a working version of the model in pure Keras. Also, the original implementation was in Python 2, but we used Python 3 in all the steps explained above. All the work we have done is shared in our GitHub^{†††††} repository.

4. Improvements on Deep Triage

After achieving similar results with the paper (Mani et al., 2019), we tried some additions and changes to improve the DeepTriage method in the scope of this study. Since the accuracy

results for each chronological cross validation step are shared in the paper, we use the same validation method in our experiments to be able to compare our results. Figure 3 shows the logic behind chronological cross validation.

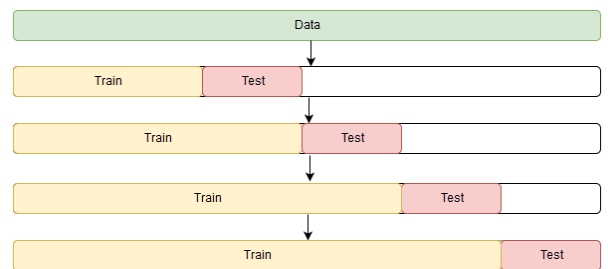


Figure 3. Chronological Cross Validation

4.1. Using GRU instead of LSTM

In the original study (Mani et al., 2019), the architecture consists of LSTM units. It is known that the GRU (Gated Recurrent Unit) can result with a faster training process as it has less parameters than the LSTM unit. The GRU unit can take advantage of all hidden states without any control, unlike the LSTM. To observe the speeding factor of the GRU unit, the same architecture is implemented by GRU units. Although the chronological cross validation results are slightly different from the LSTM implementation, the final average result is exactly the same. More detailed results are available in Table 1.

[†] <http://bugtrriage.mybluemix.net/#code>

[§] <https://docs.python.org/3/library/re.html>

^{**} <http://www.nltk.org/index.html>

^{††} <https://radimrehurek.com/project/gensim/>

^{†††} <https://keras.io/>

^{§§} <https://www.tensorflow.org/>

^{***}

<https://gist.github.com/braingineer/27c6f26755794f6544d83dec2dd27bbb>

^{††††} <https://stackoverflow.com/questions/42918446/how-to-add-an-attentionmechanism-in-keras>

^{†††††} <https://anonymous.4open.science/r/c1f33d60-67e9-480f-a3c9-8b9a0982a85c/>

Table 1. CHRONOLOGICAL CROSS VALIDATION TOP-10 ACCURACIES (IN PERCENT) FOR EXPERIMENTS ON GOOGLE CHROMIUM DATASET WITH 20 MINIMUM TRAIN SAMPLES PER CLASS.

	CV#1	CV#2	CV#3	CV#4	CV#5	CV#6	CV#7	CV#8	CV#9	CV#10	Average
<i>Deep Triage</i> (Mani et al., 2019)	36.7	37.4	41.1	42.5	41.8	42.6	44.7	46.8	46.5	47.0	42.7
<i>Our LSTM implementation</i>	33.4	40.0	41.9	37.3	38.8	41.0	41.3	44.5	47.0	51.0	41.6
<i>Our GRU Implementation</i>	32.4	40.5	41.9	38.0	38.8	41.6	42.6	44.3	45.8	50.0	41.6
<i>Our LSTM implementation with merged corpus</i>	33.7	41.3	44.3	39.1	40.3	43.1	43.2	47.0	48.9	53.0	43.4

Table 2. CHRONOLOGICAL CROSS VALIDATION TOP-10 ACCURACIES FOR EXPERIMENTS ON MOZILLA FIREFOX DATASET WITH 20 MINIMUM TRAIN SAMPLES PER CLASS

	CV#1	CV#2	CV#3	CV#4	CV#5	CV#6	CV#7	CV#8	CV#9	CV#10	Average
<i>Deep Triage</i> (Mani et al., 2019)	38.9	37.4	39.5	43.9	45.0	47.1	50.5	53.3	54.3	55.8	46.6
<i>Our Imp. with a single dense layer (1000)</i>	38.7	37.6	45.0	43.4	43.0	39.2	50.5	49.0	48.2	46.4	44.1
<i>Our Imp. with double dense layer(20y+10y)</i>	37.5	39.6	48.1	43.9	44.6	40.0	52.3	49.8	47.1	46.7	44.9
<i>Our Imp. with double dense layer(1000+1000)</i>	38.7	36.3	44.4	43.5	44.9	37.3	51.7	51.5	49.6	49.7	44.8

Table 3. CHRONOLOGICAL CROSS VALIDATION TOP-10 ACCURACIES FOR THE MODELS FROM THE PAPER AND OUR BEST MODEL ON MOZILLA FIREFOX DATASET WITH 20 MINIMUM TRAIN SAMPLES PER CLASS.

	CV#1	CV#2	CV#3	CV#4	CV#5	CV#6	CV#7	CV#8	CV#9	CV#10	Average
<i>BOW + MNB [4]</i>	22.0	22.8	23.6	26.3	29.2	32.3	34.4	36.4	38.6	38.4	30.4
<i>BOW + Cosine [4]</i>	18.4	21.9	25.1	27.5	29.1	31.4	33.8	35.9	36.7	38.3	29.8
<i>BOW + SVM [4]</i>	18.7	16.9	15.4	18.2	20.6	19.1	20.3	21.8	22.7	21.9	19.6
<i>BOW + Softmax [4]</i>	16.5	13.3	13.2	13.8	11.6	12.1	12.3	12.3	12.5	12.9	13.1
<i>DBRNN-A + Softmax [4]</i>	38.9	37.4	39.5	43.9	45.0	47.1	50.5	53.5	54.3	55.8	46.6
<i>Our Implementation</i>	39.1	34.0	46.4	46.1	49.2	44.1	54.1	52.2	51.7	48.9	46.6

Table 4. CHRONOLOGICAL CROSS VALIDATION TOP-10 ACCURACIES FOR THE MODELS FROM THE PAPER AND OUR BEST MODEL ON GOOGLE CHROMIUM DATASET WITH 20 MINIMUM TRAIN SAMPLES PER CLASS

	CV#1	CV#2	CV#3	CV#4	CV#5	CV#6	CV#7	CV#8	CV#9	CV#10	Average
<i>BOW + MNB [4]</i>	22.9	26.2	27.2	24.2	24.6	27.6	28.2	28.9	31.8	36.0	27.8
<i>BOW + Cosine [4]</i>	19.3	20.9	22.2	19.4	20.0	22.3	22.3	22.9	23.1	23.0	21.5
<i>BOW + SVM [4]</i>	12.2	12.0	11.9	11.9	11.6	11.5	11.3	11.6	11.6	11.6	11.7
<i>BOW + Softmax [4]</i>	11.9	11.8	11.4	11.3	11.2	11.1	11.0	11.8	11.3	11.7	11.5
<i>DBRNN-A + Softmax [4]</i>	36.7	37.4	41.1	42.5	41.8	42.6	44.7	46.8	46.5	47.0	42.7
<i>Our Implementation</i>	34.7	42.4	43.9	39.8	40.5	43.9	44.1	47.1	49.5	53.6	44.0

4.2. Merging all Dataset Corpora

In this section, we conduct experiments to apply transfer learning between different datasets. For example, a model trained with Google Chromium dataset would be tested with Mozilla Firefox dataset. But the main problem with this approach is that class labels of different datasets can be completely different as the developers of different projects are not exactly the same. The illustration of this issue is available Figure 4.

To prevent such a situation, we employ a different approach for transfer learning. Instead of using only one dataset, we created the word2vec model by using all three datasets: Chromium, Mozilla Core and Mozilla Firefox. The results of the model trained with a merged (i.e. combined) corpus is given in Table 1. It is remarkable that the accuracy results are enhanced by a factor of 2% when trained by the combined corpus.

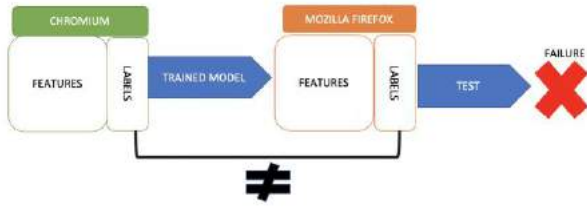


Figure 4. Illustration of the problem with transfer learning between datasets.

4.3. Changing Dense Layer Structure

Our datasets are created from large open-source projects. These projects consist of a large number of developers (.e.g. 1031 developers for Chromium). So, the number of class labels is large for the classification task. In the original paper, the authors use a single dense layer of size 1000 before softmax classifier. When considering the large number of class labels, it may be considered that a single dense layer cannot be enough to represent the features of all labels. As a solution, we propose 2 different setups:

- Double dense layers of size: 20y + 10y (where y is equal to the number of class labels)
- Double dense layers of size: 1000 + 1000

By increasing the number of dense layers and the size of these layers, we achieved slightly better accuracy results compared with the paper implementation. Results for different dense layer configurations can be seen in Table 2.

5. Results

After our experiments, we decided to implement a model with GRU as RNN units, merged corpus and two dense layers with 1000 nodes. In our best model, we use the hyperparameters given in Table 5. Figure 6 shows train and validation loss for CV#10 of Mozilla Firefox dataset with 20 minimum train samples per class. Validation accuracy for CV#10 is 48.9%, accuracy values for other CVs are given in Table 3.

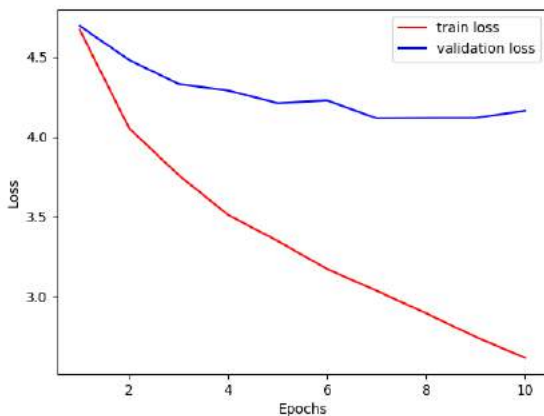


Figure 5. Loss values for CV#10 of Mozilla Firefox dataset with 20 minimum train samples per class. Accuracy values are given in Table 3.

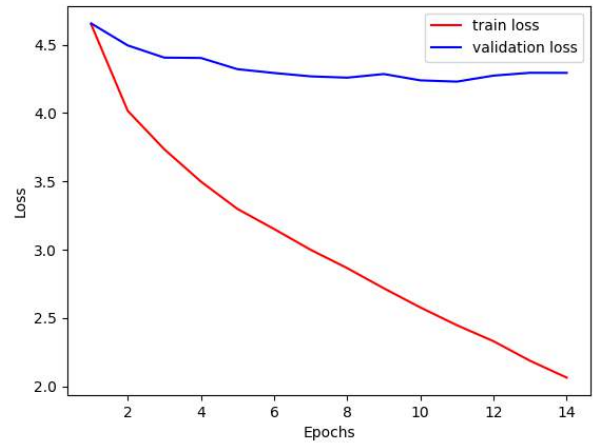


Figure 6. Loss values of Mozilla Firefox dataset with 20 minimum train samples per class for 82% train, 9% validation and 9% test splits. Top-10 test accuracy is 42.2%.

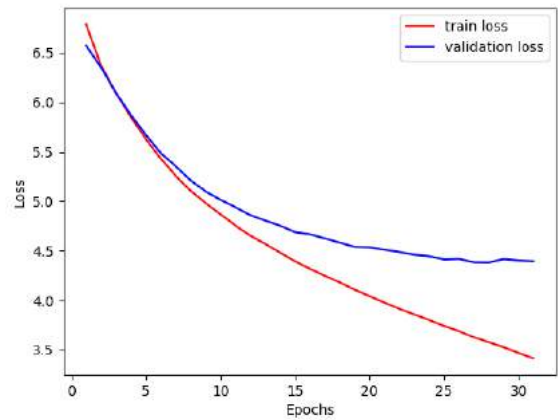


Figure 7. Loss values of Google Chromium dataset with 20 minimum train samples per class for 82% train, 9% validation and 9% test splits. Top-10 test accuracy is 50.5%.

Table 5. HYPERPARAMETERS FOR OUR FINAL MODEL. ONLY EXCEPTION IS THAT WE USE 32 AS BATCH SIZE FOR MOZILLA FIREFOX DATASET.

	Value
Learning Rate for Adam Optimizer	0.0001
Patience for Early Stopping	3
Batch Size	1024
Number of RNN Units	1024
Max Sentence Length	50
Embedding size for Word2Vec	200
Minimum Word Frequency for Word2Vec	5
Context Window for Word2Vec	5

To evaluate our model with a completely different test data, we used Mozilla Firefox and Google Chromium datasets with 20

minimum training samples per class. We split them into three partitions: 82% train, 9% validation and 9% test. The loss graphs of Mozilla Firefox and Google Chromium are in Figure 6 and Figure 7 respectively. Top-10 test accuracy of Mozilla Firefox dataset is 42.2%, and top-10 accuracy of Google Chromium dataset is 50.5%.

6. Conclusions and Recommendations

Since manual bug triaging is a time-consuming process, there have been several bug triaging algorithms to automate this process. One of the latest successful algorithms to address this problem is the Deep Triage. In this study, we implemented the automated bug triaging model proposed by Mani et al. (Mani et al., 2019) and enhance the results. Consequently, we introduced the following three contributions to the original study and manage to achieve slightly better results:

- *Using GRUs instead of LSTM units:* As the GRU has less parameters, training larger batch sizes is possible with the same memory usage. Batch size can be larger up to roughly 50% because GRU has two gates while LSTM has three gates. Since we showed that using GRU does not affect the accuracy, the training process can be fastened significantly without a loss in the accuracy results.
- *Combining different datasets to create the corpus:* Because each software project consists of different developers and it is not possible to transfer the knowledge acquired from a dataset (no mapping for developers) to another dataset. Therefore, we created a combined corpus from different datasets in order to take advantage of bug reports from different projects. The models trained by the combined corpus achieve a better accuracy with 2% improvement.
- *Changing Dense Layer Structure:* To represent more than 1000 class labels, we increased the number of dense layers and nodes within these layers. With this change, we achieved slightly better results.

In our future work, we are planning to test the enhanced algorithm with different datasets (both industrial and open-source datasets) and provide a comparative analysis with other bug triaging approaches.

References

- Anvik, J., Hiew, L., & Murphy, G. C. (2006). Who should fix this bug? In *Proceedings - International Conference on Software Engineering* (Vol. 2006, pp. 361–370). New York, New York, USA: IEEE Computer Society. <https://doi.org/10.1145/1134285.1134336>
- Cubranic, D., & Murphy, G. C. (2004). Automatic bug triage using text categorization. *16th Int. Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering*, 92–97. Retrieved from <http://www.eclipse.org>.
- Hindle, A., Barr, E. T., Su, Z., Gabel, M., & Devanbu, P. (2012). On the naturalness of software. In *Proceedings - International Conference on Software Engineering* (pp. 837–847). <https://doi.org/10.1109/ICSE.2012.6227135>
- Jeong, G., Kim, S., & Zimmermann, T. (2009). Improving bug triage with bug tossing graphs. In *ESEC-FSE'09 - Proceedings of the Joint 12th European Software Engineering Conference and 17th ACM SIGSOFT Symposium on the Foundations of Software Engineering* (pp.

- 111–120). <https://doi.org/10.1145/1595696.1595715>
- Mani, S., Sankaran, A., & Aralikkatte, R. (2019). Deeptrriage: Exploring the effectiveness of deep learning for bug triaging. In *Proceedings of the ACM India Joint International Conference on Data Science and Management of Data* (pp. 171–179). <https://doi.org/10.1145/3297001.3297023>
- Mikolov, T., Chen, K., Corrado, G., & Dean, J. (2013). Efficient estimation of word representations in vector space. In *1st International Conference on Learning Representations, ICLR 2013 - Workshop Track Proceedings*. International Conference on Learning Representations, ICLR. Retrieved from <http://ronan.collobert.com/senna/>
- QA: Quality assurance at Mozilla - Mozilla | MDN. (n.d.). Retrieved September 6, 2020, from <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Mozilla/QA>
- Xuan, J., Jiang, H., Ren, Z., Yan, J., & Luo, Z. (2010). Automatic bug triage using semi-supervised text classification. In *SEKE 2010 - Proceedings of the 22nd International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering* (pp. 209–214). Retrieved from <http://arxiv.org/abs/1704.04769>



Deterjan Bazlı Çamaşır Makinesi Atıksuyunun YDA ve EoL Analizi ile Değerlendirilmesi

Hakan Çelebi^{1*}, Tolga Bahadır², İsmail Şimşek³, Şevket Tulun⁴

¹ Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Aksaray, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7726-128X), hakanaz.celebi@gmail.com

² Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Aksaray, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9647-0338), tolgabahadir61@gmail.com

³ Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Aksaray, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1950-5159), ismailsimsek@aksaray.edu.tr

⁴ Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Aksaray, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0570-7617), sevkettulun@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 11 Kasım 2020 ve Kabul Tarihi 18 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.824474)

ATIF/REFERENCE: Çelebi, H., Bahadır, T., Şimşek, İ., & Tulun, T. (2021). Deterjan Bazlı Çamaşır Makinesi Atıksuyunun YDA ve EoL Analizi ile Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 275-284.

Öz

Çevre kirliliği çalışmaları, tüm dünyada özellikle atıksuyun yapısında yer alan deterjan sorununun hızla arttığını göstermiştir. Çamaşır yıkamadan kaynaklı atıksularda bunlardan biri olup çamaşır makinesi atıksuyu, yüksek konsantrasyonlu deterjanlar, sürfaktan, fosfat, askıda katı maddeler, yağ, renk vb. kirleticileri içeren kentsel atıksuyun bir parçası olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada, deterjanların salınımı hakkında güvenilir veriler elde etmek ve çamaşır makinesi atıksularının olası çevresel etkilerini belirlemek amacıyla, ev tipi çamaşır makinesi kullanılarak giysiler üzerinde gerçek ölçekte çamaşır makinesinde yıkama denemeleri yapılmıştır. Yıkama işlemi sonunda atıksular iki farklı deterjan için ayrı ayrı toplanıp analizler gerçekleştirilmiştir. Bu sayede bor içeriğine sahip deterjanın çevresel etki boyutu da incelenmiştir. Ayrıca, deterjanlar ve çamaşır makinesi atıksuyu için yaşam döngüsü ve EoL diyagramları temelinde çevresel değerlendirmeler yapılmıştır. Sonuçta, yapılan atıksu analizlerine ve EoL diyagramına göre bor içeriğine sahip deterjanın yüzey aktif madde (MBAS) (104.1 mg/L) ve fosfat (1.506 mg/L) açısından diğer deterjana (MBAS=220.4 mg/L, fosfat=8.863 mg/L) göre daha iyi olduğu ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Çamaşır makinesi atıksuyu; Deterjan; YDA; EoL, Kirlilik

Evaluation of Detergent-Based Washing Machine Wastewater by LCA and EoL Analysis

Abstract

Environmental pollution studies have shown that the detergent problem in the structure of wastewater is increasing rapidly all over the world. Washing machine wastewater, high concentration detergents, surfactant, phosphate, suspended solids, oil, colour, etc. It appears as a part of urban wastewater containing pollutants. In this study, in order to obtain reliable data on the release of detergents and to determine the possible environmental effects of washing machine wastewater, real-scale washing trials were carried out on clothes using a household washing machine. At the end of the washing process, wastewater was collected separately for two different detergents and analyzed. Thus, the environmental impact of the detergent with boron content was also examined. In addition, environmental assessments were made for detergents and washing machine wastewater on the basis of the life cycle and EoL diagrams. As a result, according to the wastewater analysis and EoL diagram, the detergent with boron content in terms of surfactant (104.1 mg / L) and phosphate (1.506 mg / L) compared to the other detergent (MBAS = 220.4 mg/L, phosphate = 8.863 mg/L) proved to be better.

Keywords: Washing machine wastewater; Detergent; LCA; EoL, Pollution

* Sorumlu Yazar: hakanaz.celebi@gmail.com

1. Giriş

Su kaynakları bol, ama dengesiz bir şekilde dağılmış durumdadır; yeryüzünde bulunan suyun % 97'si denizler ve okyanuslarda, % 2.97'si kutup buzullarında, geri kalan % 0.03'ü yüzey sularındadır (Lade & Gbagba, 2018). Bu sayısal değerler doğrultusunda su, yaşamın her alanında bulunan vazgeçilmez bir kaynak olmakla birlikte, nitel ve nicel sınırlamalara sahip hassas ve sınırlı bir bileşendir. Depremler, volkanik patlamalar veya fırtınalar gibi doğal olaylar suyu kirletebilirken, kirlilik oluşturan nedenlerin çoğu insan faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Oldukça önemli bir küresel sorun olan su kirliliğinin kaynakları noktasal veya dağılık nitelikte olup, evsel ve endüstriyel atıksular en önemli kirlilik grubunu oluşturmaktadır. Nüfus yoğunluğunun, şehirleşmenin, endüstrileşmenin ve evsel su arzının hızla artmasıyla birlikte atıksu üretim miktarı da aynı oranda artmaktadır. İnsan faaliyetleri tarafından günlük olarak üretilen ortalama atıksu hacmi, evdeki su miktarının mevcudiyetine, kültürel düzeye/türe, suyun maliyetine ve ekonomik koşullara bağlıdır (Boulay vd., 2015). Özellikle evlerde farklı amaçlarla kullanılan sular karışık olarak kanalizasyon sistemlerine verilmektedir. Ancak bu suların her birinin kirlilik yükü birbirinden farklı olup arıtma tesislerine ek kirlilik yükü oluşturabilmektedir.

Evlerde günlük hayat içerisinde çamaşırların yıkanması yoğun olarak gerçekleştirilmekte olup, bilinçli çevre düzenlemelerinin yapılmadığı ve uygulanmadığı bir alandır. Çamaşır yıkama kaynaklı katı ve özellikle sıvı atıklar, giysilerin içindeki kir, yağ, toz ve diğer kirletici gruplarının giderilmesinde deterjan ve sabun kullanımı ile ortaya çıkmaktadır (Boulay vd., 2015; Olabode.H vd., 2019). Evsel ve ticari çamaşır makinelerinden kaynaklanan atıksuların özellikleri, kullanılacak deterjanların türüne, yıkama yöntemlerine ve tekniklerine bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir (Olabode.H vd., 2019). Atıksu salınımlarının nitelikleri, hane halkı veya işyeri kaynağına bağlı olarak bölgeden bölgeye değişmektedir. Çamaşır makinesinden kaynaklanan atıksu, yüksek konsantrasyonlu deterjanlar, askıda katı maddeler, yağ, renk vb. içeren kentsel atıksuyun (yaklaşık %10'u) bir parçasıdır (Olabode.H vd., 2019; Tripathi & Khan, 2019). Tipik olarak, çamaşır makinesi atıksuları, tekstil ürünlerinin tipine bağlı olarak 1200-20000 mg/L kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) değerlerine sahiptir. Çamaşır makinesi atıksuyunun karakterizasyonu ve çevresel boyutu konusunda çok az çalışma yapılmıştır (Tripathi & Khan, 2019). Çoğunlukla literatürde bu atıksuların arıtımı üzerine çalışmalar daha yoğun gerçekleştirilmiştir (Ashfaq & Qiblawey, 2018; Siswoyo vd., 2019; Veli vd., 2019). Bu nedenle aşağıdaki noktaları hedef alan bir araştırma çalışması yapılmıştır.

1. Çamaşır yıkamada kullanılan su kalitesi, çamaşır makinesi kullanım şekli, deterjanlar ve diğer malzemelerin tespit edilmesi,
2. Çamaşır makinesi ve deterjanlar için yaşam döngüsü diyagramı hazırlanması,
3. Çalışma alanındaki tipik çamaşır makinelerinde üretilen atıksuların laboratuvar ölçekli analizlenmesi ve değerlendirilmesi,
4. Çamaşır makinesi atıksularının yaşam döngüsü analizi (YDA) kapsamında İngilizce'de hayatın sonu anlamına gelen "end of life" (EoL) diyagramının oluşturulması ve atıksuların çevresel etki potansiyelinin değerlendirilmesi.

2. Deterjan Tanımı

Deterjanlar, evsel ve endüstriyel faaliyetler için yoğun olarak tüketilen önemli temizlik bileşikleridir. Geniş uygulamaları nedeniyle, deterjanlar daha yüksek kalite ve çevre standartlarını karşılamak için sürekli olarak geliştirilmektedir. Deterjanlar, uzun lipofilik hidrokarbon gruplarının sonunda polar veya yüklü hidrofilik gruplar içeren amfipatik moleküllerdir. Deterjanlar yani yüzey aktif maddeler genellikle evsel ve endüstriyel temizlik uygulamalarına göre sert yüzey temizleyici, çamaşır deterjanı ve bulaşık deterjanı olarak sınıflandırılabilirler (Dai vd., 2019). Düşük konsantrasyonlarda, deterjanlar suda monomer olarak bulunurlar ve bir deterjanın performansını deterjan konsantrasyonuna, iyonik güce, alkil zincirinin uzunluğuna, suyun pH'sına, organik katkı maddelerin varlığına, saflık ve sıcaklık faktörlerine bağlı olarak değişmektedir. Son yıllarda, sentetik deterjanların kullanımı, özellikle dünyada, çevre ve halk sağlığı üzerinde çeşitli etkilere neden olmuştur. Deterjanlar, evsel kanalizasyon sistemleriyle alıcı su ortamlarına yayıldığında yapay ötrofikasyona neden olan ve balıkçılığı olumsuz etkileyen polifosfatlar açısından zengin bileşiklerdir. Deterjanların formülasyonunda bulunan yüzey aktif madde, biyolojik olarak parçalanamayan ve çeşitli çevresel etkilere neden olan alkil benzen sülfonat (ABS) bileşiğidir. Günümüzde ise ABS yerine biyolojik olarak parçalanabilir ve çevrede salınımları daha kısa süren lineer alkilbenzen sülfonat (LAS) ve sodyum laril sülfat (SLS) yüzey aktif maddeleri kullanılmaya başlanmıştır. Deterjanlar, temizleme gücüne sahip sentetik organik kimyasallardan (sürfaktanlar) üretilen bileşiklerdir. Bunlar anyonik, katyonik ve iyonik olmayan olarak sınıflandırılırlar (Dai vd., 2019; Jardak vd., 2016).

3. Yaşam Döngüsü Analizi (YDA)

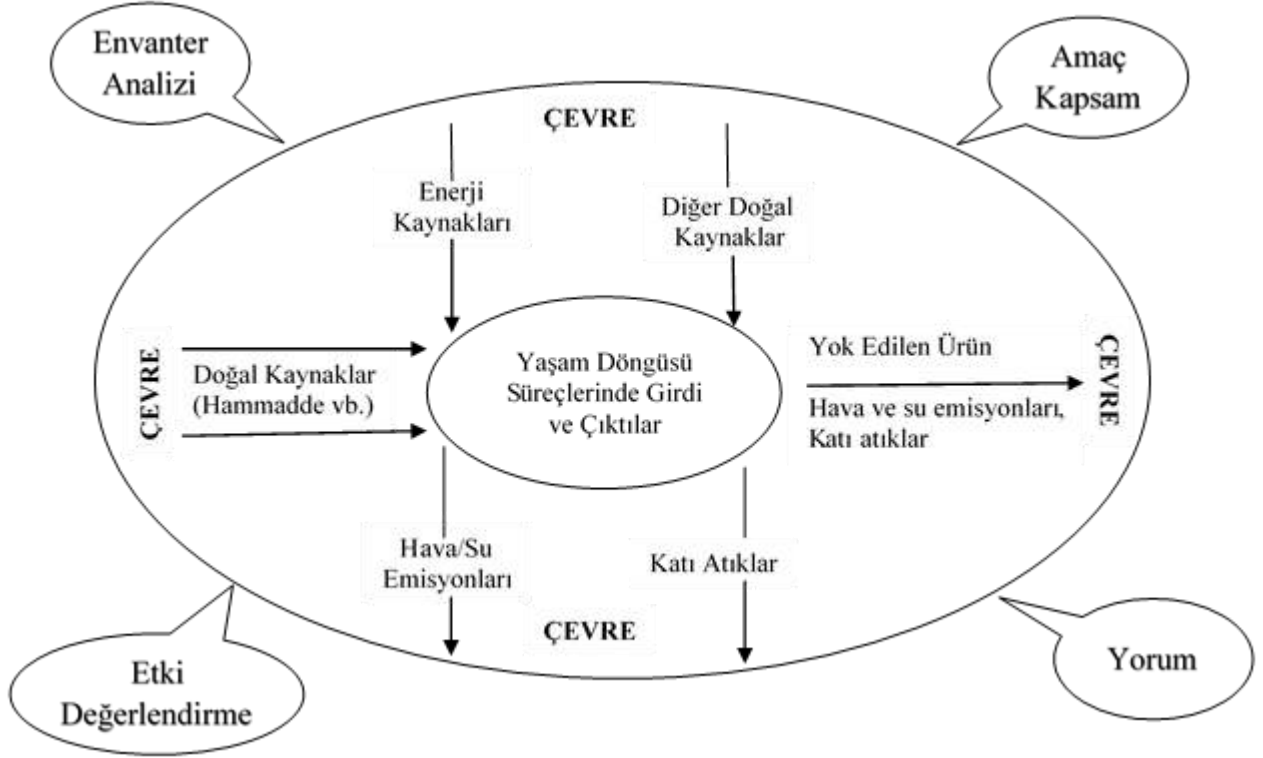
YDA, bir ürün ya da sürecin yaşam döngüsü boyunca hammadde aşamasından farklı çevre ortamlarına ulaşınca kadar geçen süreçleri içeren ve çevresel etkileri bütünleşik değerlendiren analitik bir metottür. YDA metodolojisi tüm sektörlerde bir ürünün veya sürecin çevresel sürdürülebilirliğini ve etki düzeyini tespit etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Bianchetti vd., 2015; EPA, 2010; Giagnorio vd., 2017; TSE EN ISO 14040, 2007). YDA ilk olarak 1960'larda gündem olmuş daha sonrasında ise Uluslararası Standartlar Örgütü (ISO) 14040 serisinde standartta oturtulmuştur (Şekil 1) (Ordu, 2017). Yapılan çalışmalar ve değerlendirmeler, YDA değerlendirmesinde, ORWARE, SimaPro, MARTES, TEAM by, Ecobilan, UMBERTO, LCAiT, SiSOSTAQUA, BioWin*, STAN*, WWEST, BEAM, GaBi 6 ve GEMIS modellerinin sıklıkla tercih edildiğini göstermektedir (Yapıcıoğlu & Demir, 2017). Bu çalışmada SimaPro modellemesinden faydalanılmıştır. Ayrıca çamaşır makinesi atıksularının etki düzeylerinin dağılımını belirlemek ve çamaşır makinesi atıksularının en etkili çevre sorunlarını tespit etmek için CalcPlot3D modelleme yazılımı kullanılmıştır. ISO tarafından özetlenen YDA, beşikten mezara veya beşikten kapıya tüm yaşam döngüsü boyunca ürünlerin veya süreçlerin çevresel performanslarını değerlendirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. TSE EN ISO 14040 ile tanımlanan YDA Metodolojisi 4 temel ilke doğrultusunda değerlendirilmektedir.

1. **Amaç ve kapsam tanımı:** Kapsam belirleme adımı, araştırmanın amacını ve sınırlarını ele alarak sonuçları ortaya koymaktadır. Bu aşamada, hangi süreçlerin ve çevresel risklerin dâhil edileceğini tanımlar.

- 2. Envanter analizi:** YDA'nın veri toplama bölümü envanter toplanması ve değerlendirilmesini kapsamaktadır. Envanterlerin toplanması için ise genellikle Ecoinvent olarak bilinen yaşam döngüsü envanter veritabanı ve diğer uygulamalar tarafından sağlanır.
- 3. Etki değerlendirmesi:** Envanter verileriyle ilişkili iklim değişikliği, gürültü, asidifikasyon, ötrofikasyon doğal

kaynakların tüketimi, ekotoksosite ve insan toksisitesi gibi çevresel etkileri analiz etmek ve etki seviyesini karakterize etmek için kullanılan yöntemdir.

- 4. Yorum:** Envanter analizi ve etki değerlendirmesinden elde edilen sonuçlar özetlenmekte, çalışma için sonuçlar ve öneriler getirilmektedir.



Şekil 1. YDA Yönteminin 4 Temel İlkesi ve YDA Süreçlerinde Girdi ve Çıktılar (Ordu, 2017)

4. EoL (End of Life) Kavramı

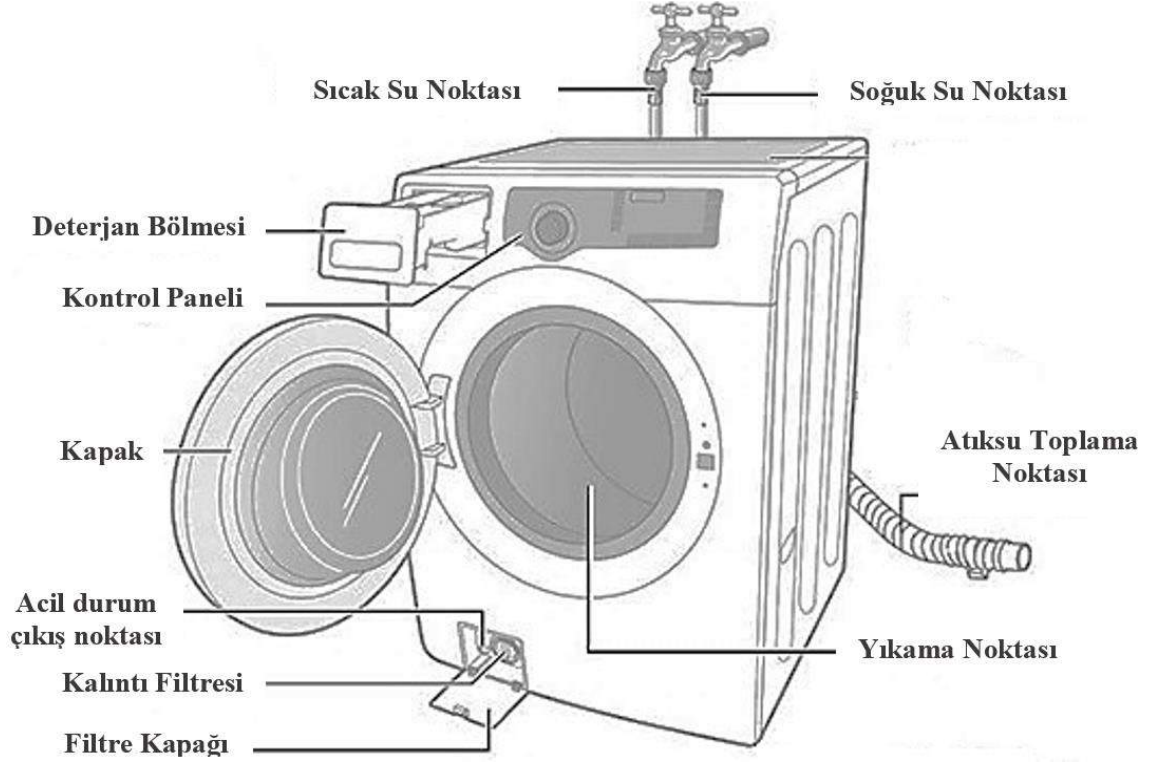
Sürdürülebilirlik ve ekolojik çevre tanımları ile birlikte üretimlerde daha hassas uygulamalar yapılmaktadır. Ürünlerin ve proseslerin çevresel etki düzeylerinin önemli olduğu şu günlerde işletmeler farklı minimizasyon yolları (YDA, Endüstriyel simbiyoz, sıfır atık vb.) aramaktadırlar. Bir ürünün hammadde aşamasından başlayarak, tüm üretim süreçlerinde işlenmesi, sevkiyatı ve market kullanımı, geri kazanımı ve yeniden kullanımı ile bertarafına kadar olan sürece YDA adı verilmektedir. YDA analizinin çevresel etki değerlendirmesi aşamasının temelini oluşturan EoL hem açığa çıkan atık türlerinin bertarafı ve geri kazanımı/dönüşümü hem de alıcı ortamlarda oluşan çevresel etkileri ortaya koymaktadır. Bu noktada ise YDA analizinin bütününe incelemek ve EoL değerlendirmesini yapmak için uluslararası ISO 14040 ve ISO 14044 standartlarının belirlediği kriterler doğrultusunda çevresel etki düzeyleri ortaya konulmalıdır. EoL yaklaşımının en önemli avantajlarından biri diğer çevresel uygulamalarla karşılaştırılabilir nitelikte olmasıdır. Ayrıca, YDA analizinin son aşaması olarak kabul edilen EoL aynı zamanda alıcı ortamların risk analizini de sağlamış olmaktadır. Özellikle, açığa çıkan kirlenici türlerinin oluşturduğu çevresel sorunların etki düzeylerini belirleyerek üretim aşamasında kullanılacak hammadde ve süreçlerin kontrolü sağlanmaktadır (EPA, 2010; TSE EN ISO 14040, 2007).

5. Materyal ve Metot

İki farklı deterjan içeriğine sahip olan atıksular bir çamaşır makinesinin normal kullanımını sonucunda elde edilmiştir (Şekil 2). Çamaşır makinesi atıksu örneklerinin öncelikle fiziksel, kimyasal ve bakteriyolojik parametreleri belirlenerek karakterizasyonu belirlendi. İncelenen parametreler arasında pH, İletkenlik, Toplam Katı Madde (TKM), Askıda Katı Madde (AKM), Toplam Organik Karbon (TOK), Toplam Azot, Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ), MBAS, Fosfat, Nitrat, Florür, Bromür, Bromat, Klorür, Sülfat ve Nitrit bulunmaktadır. Tüm parametreler Standart Su ve Atıksu Metodu 2017 (APHA, 2017)'ye göre analiz edilmiştir. Atıksu karakterizasyonu için ham atıksuda mevcut anyon ve katyon analizleri gerçekleştirilmiş, ölçümler İyon Kromatografisi (ICS-1000, Dionex) ve endüktif olarak eşleşmiş plazma optik emisyon spektrometresi (ICP-OES Optima 2100 DV, Perkin Elmer, USA) cihazlarında gerçekleştirilmiştir. Numunelerin pH değerleri dijital HANNA pH 211 model pH metre ile ayarlanmıştır. KOİ analizleri SM-5220 D ve AKM analizleri SM-2540 C'ye göre gerçekleştirilmiştir. Deney yapılan anyonik yüzey aktif maddelerin konsantrasyonu SM-5540 C, Metilen Mavisi Emici Maddelerden (MBAS) modifiye edilen metoda göre yapılmıştır. Koliform sayımları steril koşullarda hazırlanan besi ortamı ve indikatörün iki film arasında işlenerek, direkt kullanımının hizmetine sunulduğu 3M Petrifilm ile yapılmıştır. Atıksu örnekleri standart prosedürlere göre Ağustos 2020 ayında,

Aksaray'daki bir evden toplanmış, pH ile iletkenlik gibi bazı parametrelerin ölçümleri atıksu deşarj hattında yerinde ölçülmüştür. Numuneler toplandıktan sonra, hemen niteliksel analiz için Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre

Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarına aktarılmıştır. Numuneler, atıksudaki herhangi bir fiziksel-kimyasal değişikliği önlemek için 4 °C'de saklanmıştır.



Şekil 2. Çamaşır Makinesi Su Giriş-Çıkış Yapıları ve Atıksu Toplama Noktası (URL-1, 2021)

6. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

6.1. Atıksu Karakterizasyonu

Atıksu karakterizasyonu, kirleticilerin toplu olarak değerlendirilebildikleri anlamlı ve önemli parametreler bazında yapılmaktadır. Atıksu karakterizasyonu ülkeden ülkeye değişebileceği gibi, aynı ülke içerisinde de deterjanın türü, yıkama koşulları vd. parametrelere göre değişiklik göstermektedir. Evsel atıksuyun nispeten büyük bir kısmı çamaşır makinelerinden çıkan deterjanlı atıksudur. Çamaşır makineleri tipik olarak yıkama başına 50–200 L arasında atıksu üretebilirler (Burrows vd., 2006; Patil vd., 2020). Bu çalışma ile klasik ve bor içerikli deterjanların çamaşır makinesi atıksuyunun bileşimine katkısı da değerlendirilmiştir. Tablo 1'de literatürde araştırılmış çeşitli çamaşır makinesi atıksularının karakterizasyonu gösterilmiştir. Çamaşır makinesi atıksuları, arıtmayı zorlaştıran organik (sabunlar, deterjanlar, klorlu ve aromatik çözücüler ve biyolojik madde, yağlar, gres ve yağ) ve inorganik (ağır metaller, kum ve toprak tozu, metal iyonları ve parçacıklar) maddeler içerir. Tipik olarak KOİ, BOİ₅ ve TKM seviyesi sırasıyla 5000, 1300 ve 1000 mg/L'dir. Bazı durumlarda KOİ seviyesi 20000 mg/L'ye kadar yükseldiği gözlemlenir (Lade & Gbagba, 2018).

Bu çalışmadaki analizlere ait; kirletici konsantrasyon değerleri Tablo 2'de yer almaktadır. Yapılan analizler incelendiğinde çamaşır makinesi kaynaklı atıksularda özellikle KOİ konsantrasyonlarının oldukça yüksek ve çok değişken yapıya sahip olduğu görülmektedir. Buna göre bor içeriğine sahip deterjanın KOİ konsantrasyonu (2704 mg/L) diğer

deterjanın KOİ değerine (6009 mg/L) göre daha düşük çıkmıştır. Tablo incelendiğinde bor içerikli ve normal deterjanlı atıksularda TOK parametresinin değerleri sırasıyla 729 mg/L ve 2058 mg/L olduğu görülmektedir. KOİ parametresinde olduğu gibi TOK içinde bor içerikli deterjanın atıksuyun kirlilik yükünü normal deterjana göre daha az arttırdığı tespit edilmiştir. Bor ve normal içerikli deterjan atıksularında pH değerleri sırasıyla 9.25 ve 8.35 ile bazik düzeyde bulunmuştur. Tablo 1 ve 2'de verilen pH değerleri göz önünde bulundurulduğunda atıksu arıtma tesislerinde pH'ın önemli bir etkisi olmadığı söylenebilir. Tablo 1'de, yapılan atıksu analizlerine ve EoL diyagramına göre bor içeriğine sahip deterjanın MBAS (104.1 mg/L) ve fosfat (1.506 mg/L) açısından diğer deterjana (MBAS=220.4 mg/L, Fosfat=8.863 mg/L) göre daha iyi olduğu açıkça ortaya konmuştur. Çamaşır makinesi atıksuyundaki ana bileşenlerden biri yüzey aktif maddedir (süfaktan, lineer alkil benzen Sülfonat, sodyum laril sülfat). Yüzey aktif maddeler alıcı ortama verildiğinde, yüksek köpüklenme ve düşük oksijenasyon kapasitesi nedeniyle ortamın havalanmasını engelleyebilir, ayrıca arıtma tesislerinde de ek kirlilik yüküne neden olabilirler. Süfaktanlar veya yüzey aktif maddeler, yağ ve suyun yüzey gerilimini azaltan kimyasallardır; deterjanlarda, süfaktanlar kirin dışarı çıkmasına ve giysilerin veya temizlenen diğer nesnelerin dışında kalmasına yardımcı olur. 3M Petrifilm ile yapılan *e-coli* ve toplam koliform analizlerinde ise herhangi bir üreme gözlenmemiş olup, bu durum kanalizasyona direk verilen deterjanlı atıksuların sulama suyu olarak kullanılabilirliğini güçlendirmektedir. López Zavala & Estrada (2016) yaptıkları çalışmada sıvı deterjanların, toz deterjanlara kıyasla atıksuya daha fazla KOİ, TOK ve daha az katı maddeler ile süfaktan

katkısında bulunduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca, önceki çalışmalar atıksuların arıtımı üzerine odaklanmış olup, Tablo 1'de de görüldüğü gibi sınırlı sayıda karakterizasyon çalışmaları

bulunmaktadır (Braga & Varesche, 2014; Choobar vd., 2019; Lade & Gbagba, 2018; Moura vd., 2019; Olabode.H vd., 2019; Siswoyo vd., 2019; Türkay vd., 2017).

Tablo 1. Literatürde Araştırılmış Çamaşır Makinesi Atıksularının Karakterizasyonu

Parametre	Birim	(Lade & Gbagba, 2018)			(Olabode.H vd., 2019)	(Siswoyo vd., 2019)	(Braga & Varesche, 2014)	(Choobar vd., 2019)	(Moura vd., 2019)	(Türkay vd., 2017)
		Evsel	Endüstriyel	Hastane	Evsel	Evsel	Ticari	Evsel	Evsel	Evsel
pH	-	9.3-10	9-11	11.4-11.6	12.4	6-9	5.6	-	8.9	7.7
İletkenlik	µS/cm	190-1400	640-3000	808-2000	682	-	-	7520	-	270
TKM	mg/L	400-6000	420	455-800	767	-	80	5190	84	-
AKM	mg/L	200-987	45-68	66-71	-	-	10	240	-	-
Bulanıklık	NTU	14-400	40-150	87.9	133	-	-	360	-	145
KOİ	mg/L	375-4155	80-212000	477-876	832	975	1710	2538	745	1356
BOİ ₅	mg/L	48-1200	218-9810	44-50	210	-	-	1190	-	484
Florür	mg/L	-	-	-	21.3	-	-	-	-	0.78
Klorür	mg/L	-	-	-	135.33	-	-	-	-	23.80
Nitrat	mg/L	-	-	-	36.0	-	-	-	-	0.73
Fosfat	mg/L	4-27.6	3.43	10.8-167	17.5	2	94.6	-	-	64.76
Sülfat	mg/L	-	-	-	40.2	-	21.1	-	535	0.70
Süfaktan	mg/L	-	-	-	-	27	-	-	95	63.25

Tablo 2. Farklı Deterjan İçeriğine Sahip Çamaşır Makinesi Atıksularının Karakterizasyonu

Parametre	Birim	Ham Su	Normal Deterjan Atıksuyu	Bor İçerikli Deterjan Atıksuyu
pH	-	6.97	8.35	9.25
İletkenlik	µS/cm	716	1275	4140
TKM	mg/L	-	3956	7628
AKM	mg/L	< 11.93*	353	753
Toplam Azot	mg/L	16.15	270.4	157.1
TOC	mg/L	58.57	2058	729
KOİ	mg/L	< 22.87*	6009	2704
MBAS	mg/L	< 0.015*	220.4	104.1
Florür	mg/L	0.3045	0.3325	12.1202
Klorür	mg/L	73.5958	156.7908	243.2966
Bromür	mg/L	0.9296	0.1618	6.1647
Bromat	mg/L	-	-	0.2894
Nitrit	mg/L	-	-	4.1002
Nitrat	mg/L	5.9096	4.2368	6.6740
Fosfat	mg/L	0.0062	8.8627	1.5064
Sülfat	mg/L	42.4679	8.2357	1.4673
e-coli	KOB/100 mL	-	-	-
Toplam koliform	KOB/100 mL	-	-	-

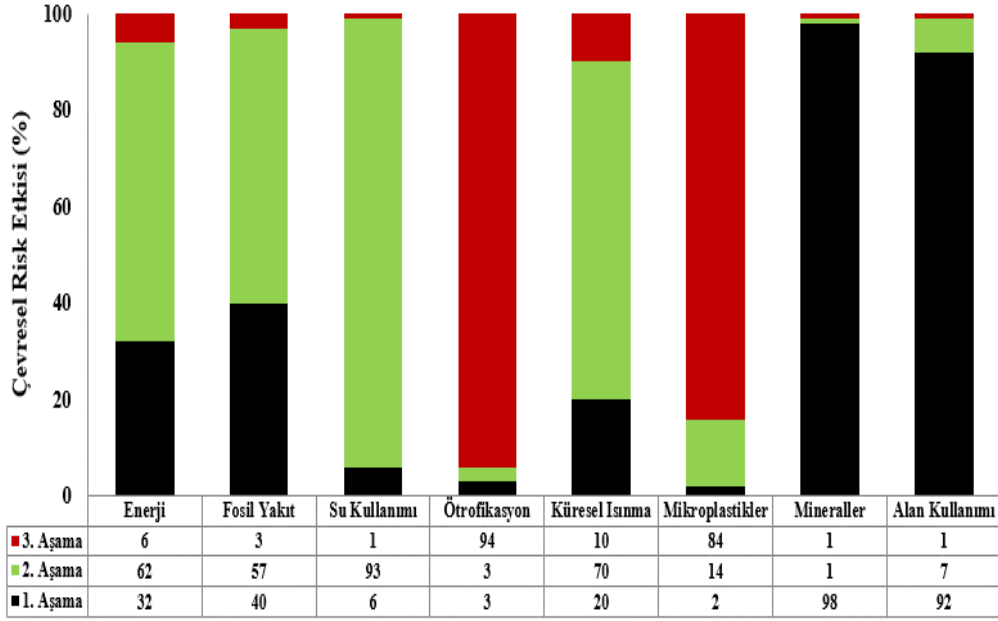
*Analizlerde kullanılan metodun tayin limitini (LOQ – Limit of Quantitation) ifade etmektedir

6.2. Çevresel Etkiler ve Kirleticilerin Potansiyelleri

Deterjanlar, çamaşır ve bulaşık makinesi deterjanları da dâhil olmak üzere çok çeşitli endüstriyel ve ev temizlik uygulamalarında kullanılır. Evden gelen atıksu akışına salınan bu deterjanlar, geniş kapsamlı çevresel etkilere neden olabilir. Çalışmada kullanılan her iki tür deterjan içeriğine sahip çamaşır makinesi atıksularının olası çevresel etkileri daha önceki araştırmalar doğrultusunda ve yapılan atıksu karakterizasyon analizleri sonucunda değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre altında çevresel riskler ve oluşan potansiyel kirlilikler YDA ve EoL diyagramları ile gösterilmiştir (TSE EN ISO 14040, 2007). Evde giysi yıkamanın her bir aşamasıyla ilişkili çevresel

risk kategorisine göre etkilerin dağılımı, YDA ve EoL diyagramları temel alındığında (SimaPro ve CalcPlot3D modelleme) Şekil 3'de gösterilmektedir. EPA verilerine göre (EPA, 2010);

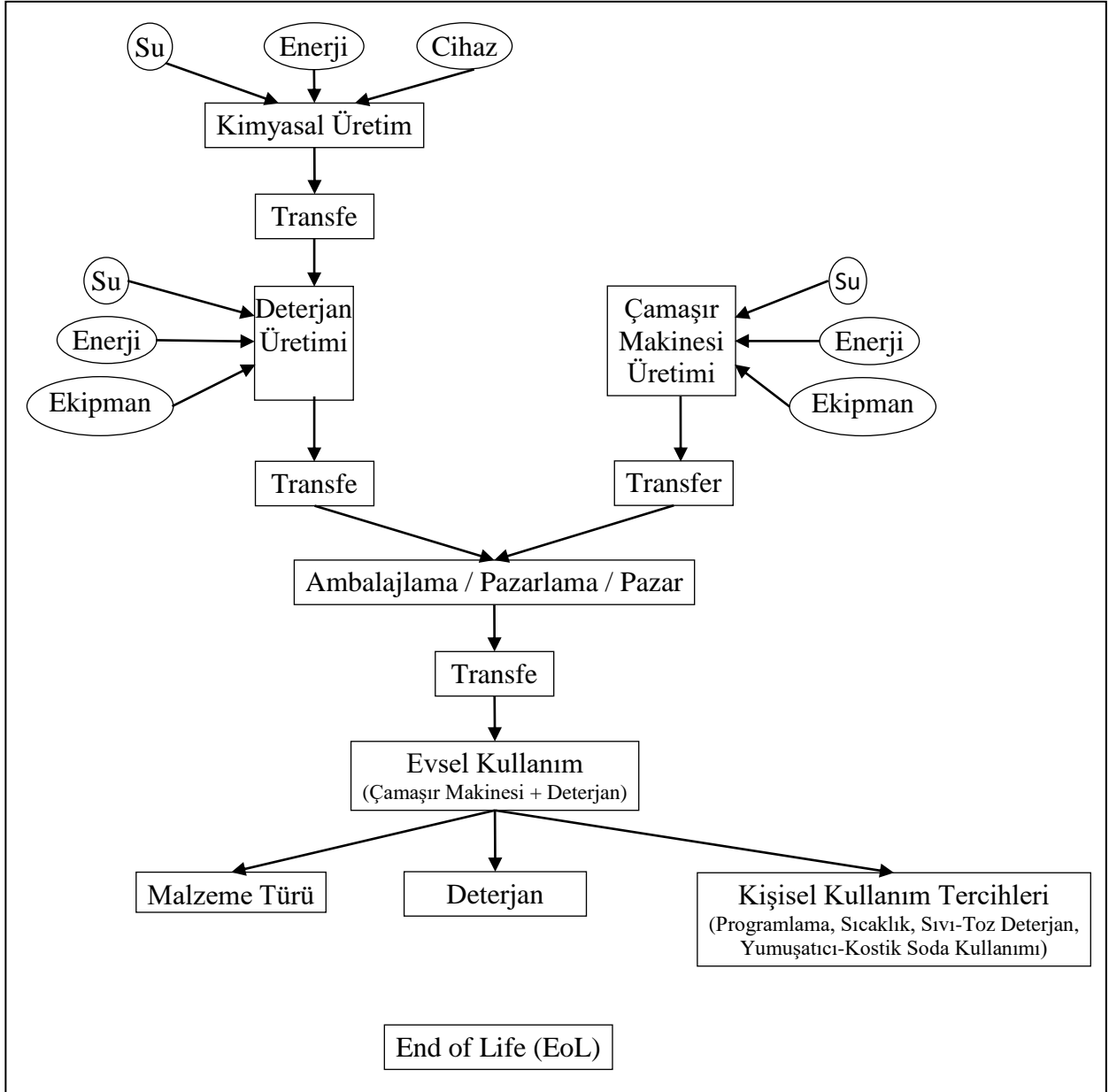
- 1 kg giysiyi yıkarken su tüketimi 30.4 L
- 1 kg kuru giysinin ötrofikasyon potansiyeli 1.17 g PO₄
- 1 kg giysinin yıkanması ile oluşan sera gazı emisyonları 0.21 kg CO₂- eşdeğerindedir
- 1 kg giysinin yıkanmasından elde edilen enerji tüketimi 2.476 kJ eşdeğerinde olup bu sayısal verilerle yüzde cinsinden çevresel risk potansiyelleri ortaya konabilmektedir.



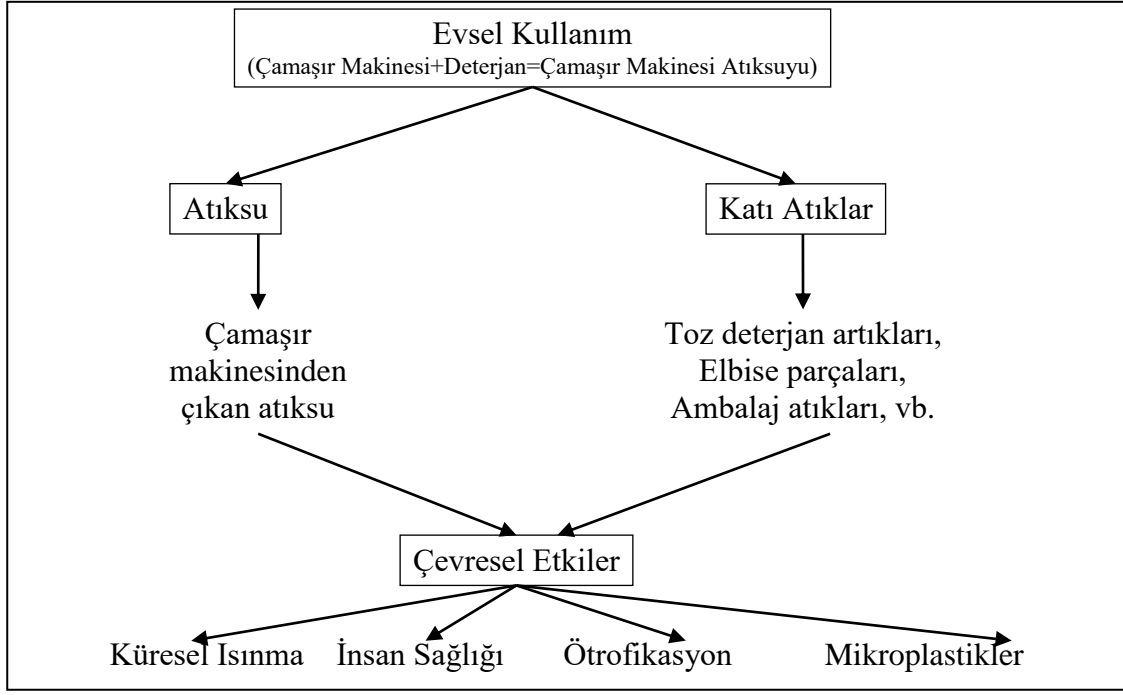
Şekil 3. Üç Aşamalı Çevresel Etki Kategorilerine Göre Yüzde Değişimleri

Çalışmamızın amacı, 1 kg giysiyi çamaşır makinesinde yıkama sonucunda ve yıkama aşamasından önceki kademeler için yaşam döngüsü etkilerini anlamak ve atıksuyun genel yapısını ortaya çıkarmaktır. Bu çalışma sırasında tanımlanan ev tipi çamaşır yıkamanın yaşam döngüsü (YDA diyagramı) ve çevresel sonuçları (EoL diyagramı) Şekil 4 ve 5’de görülebilir. Bu diyagramlar incelendiğinde YDA değerlendirmesinin 3 aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşama yıkama işleminde kullanılan ana ürünlerin (deterjan, çamaşır makinesi, soda-kireç, yumuşatıcı ve ağartıcı malzemeler vb.) üretimi, dağıtımı ve paketlenmesi ile ilgili süreçleri içermektedir. İkincisi kullanım aşaması olup evlerde düzenli olarak çamaşır yıkamak için tükettikleri tüm kaynakları su, deterjan ve enerji dahil olmak üzere kullanımlarını kapsamaktadır. Üçüncü ve son aşama ise, çamaşır makinesi ve diğer ekipmanlar, deterjanlar ve açığa çıkan deterjanlı atıksuları kapsayan üretilen tüm malzemelerin ve kimyasalların bertarafı ve işlenmesini ilgilendirmektedir. Deterjan kullanımının iki ana şekilde etkileri gerçekleşmektedir. Birincisi deterjan ve diğer yan ürünlerin üretimiyle ilişkili çevresel etkiler ve ikinci olarak çamaşır makinesi kullanımından kaynaklanan deterjan içerikli atıksu ile bağlantılı çevresel etkilerdir. Giagnorio vd. (2017) yaptıkları çalışmada çamaşır yıkama endüstrisinde kullanılan deterjanların çevresel etkilerinin YDA modeli ile genel değerlendirilmesini gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışma ile çamaşır yıkama endüstrisinde kaynaklanan ekosistem sorunlarında temel rolün deterjanlarda olduğu ortaya konmuştur. Ötrofikasyon potansiyelinin yaklaşık % 94 gibi yüksek bir oranı, özellikle yıkama döngüsünden üretilen atıksuyun yapısında yer alan deterjanların içeriğinden kaynaklanmaktadır. Jarda et al. (2016)’ya göre, sürfaktanların sucül ve karasal ekosistemlerde davranışları oldukça kompleks yapıda gerçekleşmekte ve çevresel etkileri de (ötrofikasyon gibi) ağır olmaktadır. Lopes vd. (2019) yaptıkları diğer bir araştırma da ise ev tipi deterjanların *Poecilia reticulata* üzerindeki davranışsal değişimleri ve toksisitesi izlenmiştir. Enerji kullanımının çoğu kullanım, yani yıkama aşamasında gerçekleşmektedir. Özellikle, mikroplastikler ve ötrofikasyon gibi en belirgin kirlilik durumu olarak karşımıza çıkmaktadır. Ev tipi çamaşır makinelerinden her yıkama sonucunda mikroplastik (lif, elyaf ve giysi parçacıkları vb.) kirlitici ortamı yayılması, sentetik tekstil ürünlerinin yapısından (plastik lifler

vb.) ve yıkama koşullarından ileri gelmektedir. Mikroplastiklerin deniz ve tatlısu ortamları başta olmak üzere çok çeşitli su ortamlarında (plajlar, göl, nehir, sediment vb.) olabileceği yapılan araştırmalar ile ortaya konmuştur. Özellikle tekstil ürünlerinin (kıyafet, halı, kilim, perde, çarşaf, yastık kılıfı vb.) yıkanması sonucunda mikroplastik boyutlu liflerin ve çeşitli elyafların (pamuk-yün, naylon, polyester-pamuk vb.) salınması, potansiyel bir mikroplastik kaynağı olarak küresel ölçekte yaygın bir şekilde rapor edilmiştir (Barrows vd., 2018; De Falco vd., 2019; Geyer vd., 2017; Kogawa vd., 2017; McIlwraith vd., 2019; Prata, 2018). Ancak çamaşır makinesi atıksularından kaynaklanan mikroplastik potansiyelinin bilim insanları tarafından göreceli olduğunu da belirtmek gerekmektedir. Çünkü çoğu bilim insanı bu tarz deşarjlardan kaynaklı mikroplastik kirliliğinin diğer kaynaklara göre düşük oranda kalacağını düşünmektedirler. Son yıllarda yapılan araştırmalar giysilerin yıkanması sonucu oluşan atıksuların, potansiyel olarak önemli bir mikroplastik kaynağı olduğunu ortaya koymaktadır. Yıkama sonrası tekstil ürünlerindeki lif ve elyafları içeren çamaşır makinelerinden çıkan atıksular kanalizasyon sistemleri ile arıtma tesislerine ulaşmaktadır (Dris vd., 2015). Lif ve elyaf malzemelerin boyutlarının küçük ölçekli olmasından dolayı sistemden kaçışlarla alıcı ortamlara geçebilirler. Deterjan türü ve yıkama koşulları da bunların atıksuya geçişini hızlandırabilmektedir. Çoğu tekstil ürününde yıkama özellikleri manuel ve çamaşır makinesi için belirtilmiş olup bu koşullara uyulmadığında lif ve elyafların atıksudaki yoğunlukları da artmaktadır. Ayrıca bu malzemeler biyolojik olarak parçalanmadığından arıtma çamurunda birikim gösterecek ve çevreye dağılım olabilecektir (Dris vd., 2015; Gallagher vd., 2016; Napper vd., 2015; Napper & Thompson, 2016). Gerçekten de, birçok çalışma deniz habitatlarında mikroplastik birikimini bildirmiştir. Sucül ortamlarda mikroplastik ve lif birikimi için kaynaklardan birinin yıkama sırasında giysilerden dökülen lifler olduğundan şüphelenilmektedir (Ivar Do Sul & Costa, 2014). Özellikle, bazı bilim insanları ev tipi çamaşır makinesi atıksularının “mikroplastik” kirliliğinin ana kaynağı olduğunu bildirmişlerdir. Sucül ortamlarda mikroplastiklerin kuşlar ve kaplumbağalar tarafından yutulması literatürde belirtilmiş ve deniz kuşu türlerinin % 40’ından fazlasının plastik yediği bilinmektedir (Durán vd., 2018).



Şekil 4. Üç Aşamalı YDA Diyagramı



Şekil 5. Çamaşır Atıksularının ve Katı Atıklarının Çevresel EoL Diyagramı

Ötrofikasyon ise, çözülmüş oksijen seviyesinin kaybı nedeniyle su ekosistemini bütünleşik olarak doğrudan etkileyen ciddi su kirliliği göstergelerinden biridir. Balıkların erken ve nispeten daha hızlı ölümüne yol açmakta ve böylece göl ve diğer su ortamlarının su kalitesini bozmaktadır. Evsel deterjanlar, kullanımları fosfor kaynağı olarak karşımıza çıkmaktadır. Deterjanlar normalde sürfaktanlar ve yapıcı olarak nitelendirilen polifosfat tuzlarından oluşmaktadır (Mousavi & Khodadoost, 2019). Evsel atıksulardaki sürfaktan konsantrasyonları için bildirilen değerler 3-21 mg/L arasında değişmektedir (Patil vd., 2020). Düşük konsantrasyonlarda sürfaktanlar, alıcı su ortamlarında büyük miktarda köpük üretmektedirler. Bu durum ise biz insanlar için toksik değildir, ancak sucul ekosistem üzerinde önemli bir etki yapmaktadır. Özellikle, sudaki oksijen emilim oranını düşürerek ortamın anaerobik koşullara dönmesine yol açmaktadır. Deterjan içeriğine sahip atıksulardan kaynaklanan ötrofikasyon, su ekosisteminin zaman içerisinde yaşlanma sürecini hızlandırdığından arıtma tesislerinde deterjan içeriği yüksek yüklerde daha iyi arıtım sağlanmalıdır. Ayrıca bu kirliliğin balıkçılık ve su canlıları üzerinde olumsuz etkileri de olmaktadır. Çünkü doğal ekosistem bozulduğunda canlıların yaşam alanları sınırlanmakta ve sonuç olarak farklı yaşam alanları ortaya çıkmaktadır. Bu sürfaktan ve fosfat içeriğine sahip deterjanlara doğal ekosistemin maruz kalması, çevresel stres, üreme ve büyümede bozukluk gibi hayati fonksiyonları ve süreçleri etkileyerek sucul canlılığın etkinliğini azaltabilir. Azalan etkinlik ile birlikte fosfatı besin maddesi olarak kullanan algler ortamda aşırı büyümeye başlarlar. Su ekosistemi aerobik şartlardan anaerobik ortama doğru değişir. Bu çevresel etkilerin dışında katı atık grubunda ise paketleme sürecinde karşılaşılmaktadır. EPA'ya göre çamaşır makinesi deterjanları genellikle tekrar kullanılamayan ve geri dönüştürülemeyen plastik kaplarda evlere ulaşmaktadır. Deterjan bazlı ev ürünleri tüketicilerin önemli bir kısmı tarafından haftalık olarak satın alındığında, düzenli depolama alanlarına giden deterjan ambalajı hacmi muazzam bir çevresel etki oluşturmaktadır.

7. Sonuç

Bir atıksu için kirlilik yükü potansiyeli belirlenmeden önce yapılacak ilk ve en önemli aşama o atıksuyun karakterizasyonunu ortaya koymaktır. Atıksuyun karakterizasyonu arıtma tesisine ulaşacak kirlilik yükü seviyesi hakkında fikir verebilir. YDA deterjan ve çamaşır makinesi üretimi ve bunların kullanımı sonucu salınan atıksuların çevresel etki düzeyini tespit etmede kullanılan yöntemlerden biridir. YDA ve EoL diyagramlarına göre küresel ısınma, ötrofikasyon insan toksisitesi ve ekotoksisite ile mikroplastikler deterjan bazlı çamaşır makinesi atıksularının temel etki kategorileridir. Etki kategorileri içinde en çok mikroplastikler ve ötrofikasyon potansiyeli gözlenmektedir. Ötrofikasyonun ana nedeni olan fosfor ve bileşenleri iki deterjan grubunda da ölçülmüş ve yüksek konsantrasyonlar elde edilmiştir. Çalışmada yapılan deneyler sonucunda her iki deterjan türünün ham suyun fosfat içeriğini artırdığı tespit edilmiştir. Uluslararası platformlarda deterjanların üretiminde kullanılan ana bileşen ve temizleme seviyesini etkileyen madde sürfaktanlardır. Ayrıca, yardımcı bazı aktive edici ürünler (ağartıcılar, köpük ajanları, stabilizatör, parfüm ajanları, vd.) ve yapıcı olarak adlandırılan fosfat türleri kullanılmaktadır. Deterjanlarda ve diğer kişisel bakım ürünlerinde yer alan fosfat bileşikler, pH'ı korumak için de ürünlere dahil edilmektedir. Temizlik ürünlerinde kullanılan birçok fosfat (Ortofosfatlar (PO_4^{-3}), Pirofosfatlar ($P_2O_7^{-4}$), Tripolifosfatlar ($P_3O_{10}^{-5}$), Polifosfatlar ($P_nO_{3n+1}^{-(n+2)}$)) muhteviyatı sucul ekosistemlerde konsantrasyonu artırmaktadır. Bu nedenle, son yıllarda yeni nesil deterjanlarda fosfat yerine zeolit, yağlar vb. doğal materyaller tercih edilmektedir. YDA analizi sonucunda son nokta olan EoL diyagramında yıkama işlemi kaynaklı atıksular ve içeriğinde bulunan deterjanlar arasında karmaşık bir etkileşim olduğu söylenebilir. Yaşam döngüsü analizi, çevresel riskleri tanımlamada uygulanan bir çevresel etki değerlendirme yöntemidir. Sonuçta, yapılan atıksu analizlerine ve EoL diyagramına göre bor içeriğine sahip deterjanın yüzey aktif madde (MBAS) (104.1 mg/L) ve fosfat (1.506 mg/L) açısından diğer deterjana (MBAS=220.4 mg/L, fosfat=8.863 mg/L) göre daha iyi olduğu ortaya konmuştur.

Kaynakça

- APHA. (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23 edition. I: *American Public Health Association (APHA)*. American Water Works Association, Water Pollution Control Federation, & Water Environment Federation.
- Ashfaq, M. Y., & Qiblawey, H. (2018). Laundry wastewater treatment using ultrafiltration under different operating conditions. *AIP Conference Proceedings*, 2022, Article 020002. <https://doi.org/10.1063/1.5060682>
- Barrows, A. P. W., Cathey, S. E., & Petersen, C. W. (2018). Marine environment microfiber contamination: Global patterns and the diversity of microparticle origins. *Environmental Pollution*, 237, 275–284. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.02.062>
- Bianchetti, G. O., Devlin, C. L., & Seddon, K. R. (2015). Bleaching systems in domestic laundry detergents: A review. *RSC Advances*, 5(80), 65365–65384. <https://doi.org/10.1039/c5ra05328e>
- Boulay, A. M., Bayart, J. B., Bulle, C., Franceschini, H., Motoshita, M., Muñoz, I., Pfister, S., & Margni, M. (2015). Analysis of water use impact assessment methods (part B): applicability for water footprinting and decision making with a laundry case study. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(6), 865–879. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0868-9>
- Braga, J. K., & Varesche, M. B. A. (2014). Commercial Laundry Water Characterisation. *American Journal of Analytical Chemistry*, 5(1), 8–16. <https://doi.org/10.4236/ajac.2014.51002>
- Burrows, J., Crawford, R. J., Norris, P. J., & Thorley, D. C. (2006). *Laundry detergent composition* (Patent Nr. US7078373B2). <https://patents.google.com/patent/US7078373B2/en>
- Chooobar, B. G., Shahmirzadi, M. A. A., Kargari, A., & Manouchehri, M. (2019). Fouling mechanism identification and analysis in microfiltration of laundry wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(2), Article 103030. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103030>
- Dai, M., Guo, J., Xue, X., & Feng, Y. (2019). Preparation and Investigation of High-Efficiency Antibacterial Liquid Dishwashing Detergent. *Transactions of Tianjin University*, 25(4), 322–329. <https://doi.org/10.1007/s12209-019-00187-x>
- De Falco, F., Di Pace, E., Cocca, M., & Avella, M. (2019). The contribution of washing processes of synthetic clothes to microplastic pollution. *Scientific Reports*, 9(1), Article 6633. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43023-x>
- Dris, R., Gasperi, J., Rocher, V., Saad, M., Renault, N., & Tassin, B. (2015). Microplastic contamination in an urban area: A case study in Greater Paris. *Environmental Chemistry*, 12(5), 592–599. <https://doi.org/10.1071/EN14167>
- Durán, F. E., de Araújo, D. M., do Nascimento Brito, C., Santos, E. V., Ganiyu, S. O., & Martínez-Huitle, C. A. (2018). Electrochemical technology for the treatment of real washing machine effluent at pre-pilot plant scale by using active and non-active anodes. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 818, 216–222. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2018.04.029>
- EPA. (2010). *Life Cycle Assessment of Clothes Washing Options for City West Water's Residential Customers*.
- Gallagher, A., Rees, A., Rowe, R., Stevens, J., & Wright, P. (2016). Microplastics in the Solent estuarine complex, UK: An initial assessment. *Marine Pollution Bulletin*, 102(2), 243–249. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.04.002>
- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3, Article e1700782. <http://advances.sciencemag.org/>
- Giagnorio, M., Amelio, A., Grüttner, H., & Tiraferri, A. (2017). Environmental impacts of detergents and benefits of their recovery in the laundering industry. *Journal of Cleaner Production*, 154, 593–601. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.012>
- Ivar Do Sul, J. A., & Costa, M. F. (2014). The present and future of microplastic pollution in the marine environment. I: *Environmental Pollution*, 185, 352–364. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.10.036>
- Jardak, K., Drogui, P., & Daghrir, R. (2016). Surfactants in aquatic and terrestrial environment: occurrence, behavior, and treatment processes. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(4), 3195–3216. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5803-x>
- Kogawa, A. C., Cernic, B. G., do Couto, L. G. D., & Salgado, H. R. N. (2017). Synthetic detergents: 100 years of history. I: *Saudi Pharmaceutical Journal*, 25(6), 934–938. <https://doi.org/10.1016/j.jsps.2017.02.006>
- Lade, O., & Gbagba, Z. (2018). Sustainable water supply: Potential of recycling laundry wastewater for domestic use. *Journal of Civil Engineering and Environmental Sciences*, 4(2), 056–060. <https://doi.org/10.17352/2455-488x.000029>
- Lopes, J. V. S. R., Young, R. J., & de Azevedo, C. S. (2019). Effects of the neutral household detergent on the behaviour and personality of guppy *Poecilia reticulata* (Peters, 1859) (Osteichthyes: Poeciliidae). *Acta Ethologica*, 22, 113–123. <https://doi.org/10.1007/s10211-019-00313-x>
- López Zavala, M. Á., & Estrada, E. E. (2016). The contribution of the type of detergent to domestic laundry graywater composition and its effect on treatment performance. *Water*, 8(5), 214. <https://doi.org/10.3390/w8050214>
- McIlwraith, H. K., Lin, J., Erdle, L. M., Mallos, N., Diamond, M. L., & Rochman, C. M. (2019). Capturing microfibers – marketed technologies reduce microfiber emissions from washing machines. *Marine Pollution Bulletin*, 139, 40–45. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.12.012>
- Moura, A. G. L., Centurion, V. B., Okada, D. Y., Motteran, F., Delforno, T. P., Oliveira, V. M., & Varesche, M. B. A. (2019). Laundry wastewater and domestic sewage pilot-scale anaerobic treatment: Microbial community resilience regarding sulfide production. *Journal of Environmental Management*, 251, Article 109495. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109495>
- Mousavi, S. A., & Khodadoost, F. (2019). Effects of detergents on natural ecosystems and wastewater treatment processes: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 26439–26448. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05802-x>
- Napper, I. E., Bakir, A., Rowland, S. J., & Thompson, R. C. (2015). Characterisation, quantity and sorptive properties of microplastics extracted from cosmetics. *Marine Pollution Bulletin*, 99(1–2), 178–185. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.07.029>
- Napper, I. E., & Thompson, R. C. (2016). Release of synthetic microplastic plastic fibres from domestic washing machines: Effects of fabric type and washing conditions. *Marine Pollution Bulletin*, 112(1–2), 39–45. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.09.025>

- Olabode.H, O., Idongesit.A, E., Yahaya, Y., Yahaya.M, A., Yakubu, S., & Fatimo.T, B. (2019). Treatment of Domestic Laundry Waste-Water with Analar Grade Activated Charcoal and Adsorption Models with Two (Langmuir & Freundlich) and Three (Elovich) Parameters Isotherms. *International Journal of Creative and Innovative Research in All Studies*, 2(6), 31–38.
- Ordu, M. (2017). *Çevresel Etkinin Zaman İçerisindeki Değişiminin Yaşam Döngüsü Analiziyle Değerlendirilmesi: Bursa Organize Sanayi Bölgesi Su Üretim Tesisi Örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 90s.
- Patil, V. V., Gogate, P. R., Bhat, A. P., & Ghosh, P. K. (2020). Treatment of laundry wastewater containing residual surfactants using combined approaches based on ozone, catalyst and cavitation. *Separation and Purification Technology*, 239, Article 116594. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.116594>
- Prata, J. C. (2018). Microplastics in wastewater: State of the knowledge on sources, fate and solutions. *Marine Pollution Bulletin*, 129(1), 262–265. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.02.046>
- Siswoyo, E., Utari, A. W., & Mungkari, L. G. N. (2019). Adsorption Combined Phytoremediation System for Treatment of Laundry Wastewater. *MATEC Web of Conferences*, 280, Article 05002. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201928005002>
- Tripathi, S. K., & Khan, U. (2019). Removal efficiency and adsorption aspects of sand & bagasse for residual surfactant from laundry wastewater (LW). *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(3), 7804–7808. <https://doi.org/10.35940/ijrte.C6353.098319>
- TSE EN ISO 14040. (2007). *Çevre yönetimi-Hayat boyu değerlendirme-İlkeler ve çerçeve (ISO 14040:2006)*.
- Türkay, Ö., Barışcı, S., & Sillanpää, M. (2017). E-peroxone process for the treatment of laundry wastewater: A case study. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(5), 4282–4290. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.08.012>
- URL-1. (2021). Washing Machine Will Not Start – What To Check – How To Fix. <https://removeandreplace.com/2015/04/10/washing-machine-will-not-start-what-to-check-how-to-fix/> Erişim tarihi: 15.01.2021
- Veli, S., Arslan, A., Gülümser, Ç., Topakkaya, E., Kurtkulak, H., Zeybek, Ş., Dimiglo, A., & İşgören, M. (2019). Advanced Treatment of Pre-treated Commercial Laundry Wastewater by Adsorption Process: Experimental Design and Cost Evaluation. *Journal of Ecological Engineering*, 20(10), 165–171. <https://doi.org/10.12911/22998993/113151>
- Yapıcıoğlu, P., & Demir, Ö. (2017). Çamur Arıtımının Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi-Genel Bakış. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 2, 78–92.



Crust and Uppermost Mantle Velocity Structure beneath the East Anatolian Fault Zone from Joint Inversion of P-Receiver Functions and Rayleigh Wave Group Velocities

Hamdi Alkan^{1*}

^{1*} Van Yüzüncü Yıl University, Faculty of Engineering, Department of Geophysics, Van, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3912-7503), hamdialkan@yyu.edu.tr

(First received 30 Ekim 2020 and in final form 18 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.818592)

ATIF/REFERENCE: Alkan, H. (2021). Crust and Uppermost Mantle Velocity Structure beneath the East Anatolian Fault Zone from Joint Inversion of P-Receiver Functions and Rayleigh Wave Group Velocities. *European Journal of Science and Technology*, (21), 285-300.

Abstract

The East Anatolian Fault Zone (EAFZ) is an active plate boundary where an intense earthquake activity has occurred from past to present. This activity is highly related to the geodynamic structure of the region. Because of the northward motion of Arabian plate and southward motion of the Eurasian plate, the Anatolian plate has attempted to escape westward with anticlockwise rotation. This tectonic movement cause the development of important tectonic structures. In relation to these active plate motions, the S-wave velocity structure of the EAFZ intersecting the North Anatolian Fault Zone (NAFZ) in the northeast and the Dead Sea Fault Zone (DSFZ) in the southwest is very important in interpretation the tectonic structure of the region. In this study, it was applied on the joint inversion technique of P-wave receiver functions and Rayleigh wave group velocities by using the data collected from eight broadband stations along the EAFZ. The P-receiver functions were obtained by using approximately eighty teleseismic events separately for each station, recorded by the three-component broadband seismometers. On the other hand, for the Rayleigh wave group velocity dispersion curves, twenty-one local earthquakes which have focal depth less than 50 km and bigger than moment magnitude $M_w=5.0$ were used. The results obtained from these two techniques for each station was jointly inverted to determine the 1-D S-wave velocity structure of crust and uppermost mantle. S-wave velocity models along the EAFZ indicate the presence of the low-velocity layers in the upper crust, within the approximately depths of 4-12 km. However, the Conrad discontinuity along the seismic stations was around a depth of ~22 km. Furthermore, the crust-mantle boundary along the EAFZ is about ~44 km depth. Consequently, this study yields the crustal and uppermost mantle S-wave velocity structure compatible with the tectonics of the studied region.

Keywords: Receiver Functions, Rayleigh Wave Dispersion, Joint Inversion, Crustal Structure, Shear Wave Velocity, East Anatolian Fault Zone.

P-Alıcı Fonksiyonları ve Rayleigh Dalgası Grup Hızları'nın Birleşik Ters Çözümü'nden Doğu Anadolu Fay Zonu'nun Kabuk ve Üst Manto Hız Yapısı

Öz

Geçmişten günümüze, yoğun bir deprem aktivitesinin meydana geldiği Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) Anadolu ve Arap plakalarının aktif bir sınırır. Bu aktivite bölgenin jeodinamik yapısı ile oldukça ilişkilidir. Arap plakasının kuzeye ve Avrasya plakasının güneye hareketinden dolayı, Anadolu plakası saat yönünün tersi doğrultusunda batıya doğru kaçmaya teşebbüs etmektedir. Bu tektonik hareket, önemli tektonik yapıların gelişmesine sebep olmaktadır. Bu aktif plaka hareketleriyle ilişkili olarak, kuzey-doğuda Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve güney-batıda Ölü Deniz Fay Zonu (ÖDFZ) ile kesişen DAFZ'nin S-dalgası hız yapısı bölgenin tektonik yapısının yorumlanmasında oldukça önemlidir. Bu çalışmada, DAFZ boyunca sekiz adet geniş-bantlı deprem istasyonundan toplanan verilerin kullanılmasıyla, P-dalgası Alıcı Fonksiyonu ve Rayleigh dalgası grup hızı birleşik ters çözümü yöntemi uygulanmıştır. P-Alıcı fonksiyonları, 3-bileşen geniş-bantlı sismometrelerde kayıt edilen ve her istasyon için ayrı ayrı yaklaşık 80 adet tele-sismik depremin kullanılmasıyla elde edilmiştir. Diğer taraftan, Rayleigh dalgası grup hızı dispersiyon eğrileri

* Corresponding Author: hamdialkan@yyu.edu.tr

için odak derinliği 50 km'den küçük ve moment magnitudü 5.0'dan büyük 21 yerel deprem kullanılmıştır. Her istasyon için bu iki yöntemden elde edilen sonuçlar, kabuk ve üst-mantonun 1-Boyutlu S-dalgası hız yapısını belirlemek için birleşik ters çözüm işlemine tabii tutulmuştur. DAFZ boyunca S-dalgası hız modelleri üst kabukta yani yaklaşık olarak 4-12 km derinliklerinde, düşük hızlı tabakaların varlığına işaret etmektedir. Bununla birlikte, istasyonlar boyunca Conrad süreksizliği 22 km'lik bir derinlik civarındadır. Ayrıca, DAFZ boyunca kabuk-manto geçişi yaklaşık olarak ~44 km derinliğindedir. Sonuç olarak, bu çalışma, incelenen bölgenin tektoniği ile uyumlu kabuk ve en üst manto S-dalgası hız yapısını ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Alıcı Fonksiyonları, Rayleigh Dalgası Dispersiyonu, Birleşik Ters Çözüm, Kabuk Yapısı, Kesme Dalgası Hızı, Doğu Anadolu Fay Zonu.

1. Introduction

The East Anatolian Fault Zone (EAFZ) is characterized by intensive seismicity and the potential of destructive earthquake occurrences in the instrumental and historical periods. The devastating earthquakes that occurred in the EAFZ with the moment magnitude of $M_w \geq 7.0$ have caused severe fatalities and extensive damage (Jamalreyhan et al., 2020). From past to present, previous some strong earthquakes along the EAFZ are 1964 Malatya ($M_s=5.7$), 1971 Bingöl ($M_s=6.9$), 1986 Doğanşehir-Malatya ($M_s=5.9$), 2003 Bingöl ($M_w=6.3$), 2004 Sivrice ($M_w=5.5$), and 2010 Kovancılar-Elazığ ($M_w=6.3$) (Öztürk and Bayrak, 2012; Öztürk, 2017; 2018; Melgar et al., 2020). The last of them is the Elazığ (Sivrice town) earthquake that occurred on January 24, 2020 with moment magnitude $M_w=6.8$. According to the Republic of Turkey Prime Ministry, Disaster and Emergency Management Authority Presidential of Earthquake Department (AFAD), the Sivrice earthquake resulted in 41 deaths, 1607 injuries, and thousands displaced from their homes. The focal mechanism solution of the Elazığ earthquake is an ENE–WSW striking left-lateral strike-slip fault. According to different national and international institutes, the depth of Elazığ earthquake varies between 8 and 23 km (Cheloni and Akinci, 2020). After the main shock, 995 aftershocks were recorded within 3 days magnitudes ranging from 0.8 to 5.1 (AFAD). After this earthquake, a series of earthquakes with the largest $M_w=5.7$ occurred in Bingöl (Karlıova town), the northeast of the EAFZ, starting on June 14, 2020 (Figure 1). Considering this intense seismic activity in the region, the relationship between S-wave velocity variations of Earth's crust and the depths of earthquakes is very crucial.

The main goal of this study is to understand the characteristics of the S-wave velocity structure of the study region. In this respect, it was focused on the seismic structure of the crust and uppermost mantle throughout the EAFZ by jointly inverting the teleseismic P-receiver functions and the fundamental mode Rayleigh wave group velocity dispersion curves (Ligorria and Ammon, 1999; Julia et al., 2000; Herrmann and Ammon, 2002; Herrmann, 2013). The joint inversion provides a good resolution on the S-wave velocity structure, the geological structure, and the different subsurface of boundaries. Using the joint inversion method, it also may provide information about the accurate location of earthquake focal depth concerning the more robust S-wave velocity model (Agrawal et al., 2015a).

2. Tectonic Setting

The East Anatolia is located in one of the most seismically and tectonically active regions in Turkey, which is a part of the Alp-Himalayan orogenic belt (Dewey et al., 1986; Özer et al., 2019). The East Anatolian region is under the influence of the

ongoing collision of the Eurasian Plate and the Arabian Plate since the mid-Miocene period (Dewey et al., 1986). This continental collision is defined by the Bitlis-Zagros Suture Zone (BZSZ) (McClusky et al., 2000; Reilinger et al., 2006) (Figure 1). The BZSZ is a complex continent-continent and continent-ocean collisional boundary and the boundary of mountains uplift (Şengör and Yılmaz, 1981; Öztürk, 2018). The Arabian Plate moving in the north direction at a rate of 15 ± 1 mm/year relatives to the Eurasian Plate (~ 5 mm/year) and this leads to crustal shortening, thickening, and an average elevation of 2 km above sea level in the region (Reilinger et al., 2006; Gökalp, 2012). The compressional character of the collision zone is reshaped by the major transform faults for instance the North Anatolian Fault Zone (NAFZ) and the EAFZ, due to the westward movement of the Anatolian Plate (20 mm/year) since the middle Miocene (Şengör et al., 1985), where both the EAFZ and the NAFZ accommodate most of the tectonic displacement (Jamalreyhan et al., 2020). The right lateral movement of the NAFZ is about ~ 27 mm/year, and the left lateral movement of the EAFZ is about ~ 10 mm/year according to GPS studies (McClusky et al., 2000; Reilinger et al., 2006). Contraction and strike-slip tectonics across the region are still active (Mahatsente et al., 2018).

The NAFZ which has a dextral strike-slip fault system reaches the Marmara Sea in the west and Karlıova in the east extending E-W (~ 1500 km), while the EAFZ is striking SW-NE over about 550 km-length between Karlıova triple junction in the northeast, where it joins the NAFZ, and Kahramanmaraş in the southwest where it connects with the Dead Sea Fault Zone (DSFZ) (Bozkurt, 2001; Çoban and Sayıl, 2020). The DSFZ is approximately 1000 km long and a sinistral intraplate strike-slip fault zone extending north-south direction. The DSFZ is considered a plate boundary of transform type and separates the Arabian Plate to the east and the African Plate to the west (Şengör and Yılmaz, 1981). The EAFZ is a sinistral strike-slip fault zone that composes of parallel and obliquely main fault segments northeast-southwest-trending (Öztürk, 2018). The EAFZ consists of six main fault segments. These fault segments are Karlıova-Bingöl, Palu-Hazar Lake, Hazar Lake-Sincik, Çelikhhan-Erkenek, Gölbaşı-Türkoğlu, and Türkoğlu-Antakya segments (Yön et al., 2020), caused shallow seismicity and destructive earthquakes at different times (Bayrak et al., 2015; Gülerce et al., 2017; Bayrak et al., 2020).

3. Data Preparation

Figure 1 shows the broadband seismic station distribution. The stations BNGB, KARO, KMRS, and SVRC connected to the Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute (KOERI), while stations AKCA, KOVA, MALA, and NARI connected to the AFAD. Detail information on seismic stations was given in Table 1. The regional (Table 2) and teleseismic data (Table 3) in a four-year time interval (2017-2020) were obtained from the European Integrated Data Archive (EIDA)

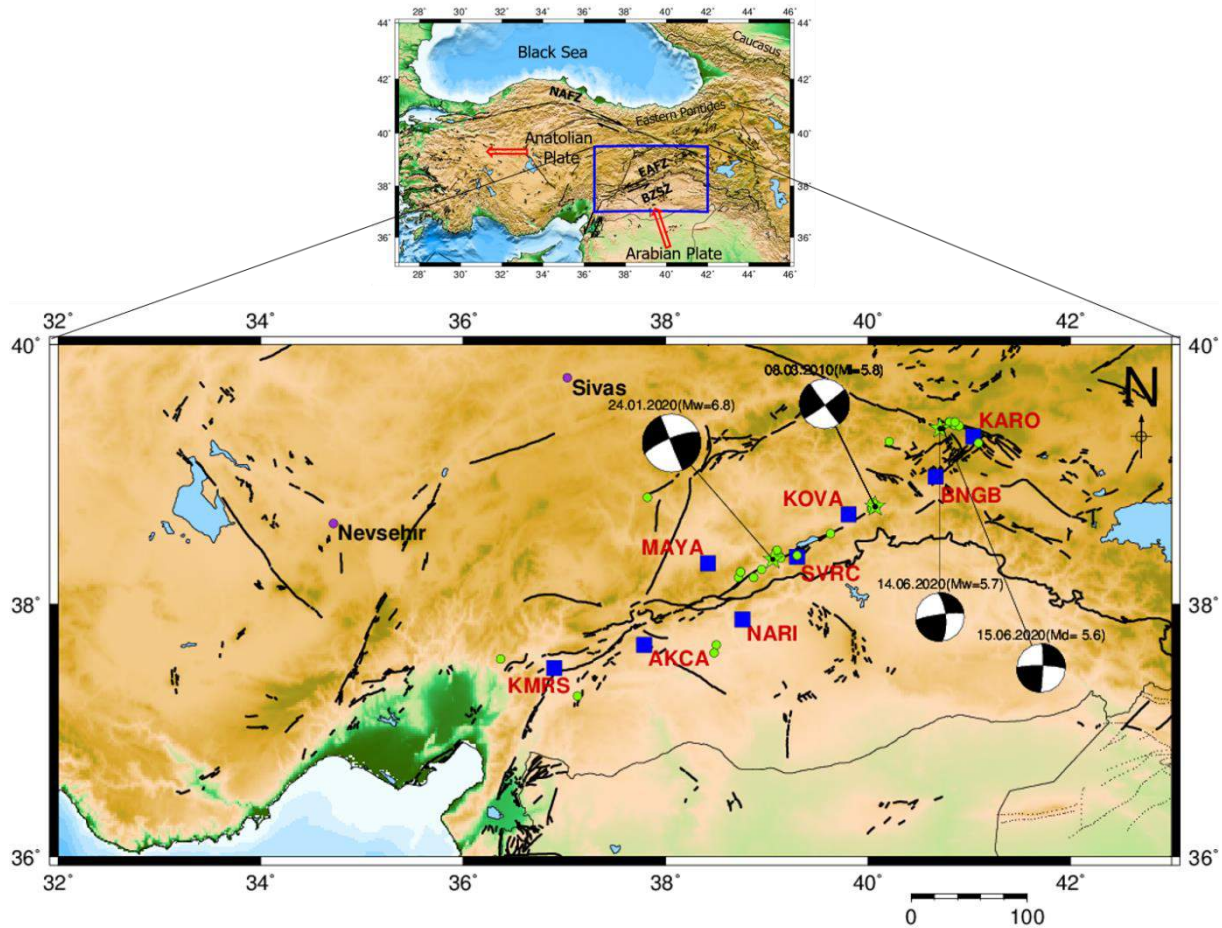


Figure 1. The main tectonic map in the East Anatolian Fault Zone and its surroundings. The blue squares indicate the broadband seismic stations. The green circles and stars represent epicentral distribution greater than $M_w=4$ after the Sivrice earthquake (24.01.2020) and the fault plane solutions of 4 events with $M_w \geq 5.5$ reported in the AFAD earthquake catalog.

(<https://www.orfeus-eu.org/data/eida/>) and the AFAD (https://tdvms.afad.gov.tr/continuous_data) (Figure 2). In the analysis of the P-receiver functions, the used waveform is from the teleseismic events originated between 30° and 90° from each station generally occurred in the east of the Earth with the moment magnitude $M_w \geq 5.8$ and depth $h \leq 100$ km. These epicenter distances were chosen to avoid the triplication caused by multiple arrivals in the direct P-wave occurring at distances less than 30° and also complication at distances greater than 90° resulting from the core-mantle boundary (Anand et al., 2018). Similarly, the regional events waveform with moment magnitude

$M_w \geq 5.5$ and depth $h \leq 50$ km that occurred at epicentral distances less than 10° from each station were used for Rayleigh wave group velocity analysis. Based on the signal-to-noise ratio, the best waveform data recorded at each station was selected with clear P-wave arrival and Rayleigh wave package. Before the data analysis, the data were firstly detrended, tapered, and bandpass filtered between 0.02 and 0.8 Hz with 5 poles and 2 passes to remove low and high-frequency noise. Then, the instrument response of all data was removed using the pole-zero files. The Seismic Analysis Code software (SAC) was used for the preparation of data (Helffrich et al., 2013).

Table 1. List of broadband stations used in the study region.

No	Station Code	Network Code	Latitude (°)	Longitude (°)	Elevation (m)	Sensor
1	KARO	KO	39.30	41.04	1820	3T
2	BNGB	KO	38.99	40.67	1180	3ESPC
3	KOVA	TU	38.70	39.81	1101	CMG-3T
4	SVRC	KO	38.37	39.30	1680	3T
5	NARI	TU	37.88	38.76	868	CMG-3ESPC
6	MAYA	TU	38.32	38.42	1067	CMG-3ESPC
7	AKCA	TU	37.79	37.68	1067	CMG-3ESPC
8	KMRS	KO	37.50	36.90	590	3T

Table 2. List of regional events used for the Rayleigh wave dispersion curves.

Origin Time	Latitude (°)	Longitude (°)	Depth (km)	Magnitude (Mw)	Region
2017-03-02T11:07:26	37.62	38.43	10.0	5.6	Samsat, Turkey
2017-06-12T12:28:39	38.93	26.36	12.0	6.3	Plomarion, Greece
2017-07-20T22:31:11	36.93	27.41	7.0	6.6	Kos, Greece
2017-11-12T18:18:17	34.91	45.96	19.0	7.3	Halabjah, Iraq
2018-01-11T06:59:30	33.71	45.72	10.0	5.5	Mandali, Iraq
2018-07-22T10:07:27	34.59	46.17	12.0	5.8	Sarpol-e Zahab, Iran
2018-08-25T22:13:25	34.61	46.24	10.0	6.0	Javanrud, Iran
2018-11-25T16:37:32	34.36	45.74	18.0	6.3	Sarpol-e Zahab, Iran
2019-01-06T13:41:59	34.12	45.68	14.0	5.6	Sarpol-e Zahab, Iran
2019-03-20T06:34:27	37.41	29.53	8.0	5.7	Acipayam, Turkey
2019-08-08T11:25:31	37.94	29.70	11.0	5.9	Baklan, Turkey
2019-09-26T10:59:25	40.90	28.15	8.0	5.7	Marmara, Turkey
2019-11-07T22:47:07	37.80	47.58	20.0	5.9	Hashtrud, Iran
2020-01-22T19:22:16	39.07	27.84	5.6	5.6	Kirkagac, Turkey
2020-01-28T15:38:34	35.22	27.89	10.0	5.5	Karpathos, Greece
2020-01-30T01:28:05	35.16	27.88	10.0	5.5	Karpathos, Greece
2020-01-30T11:21:36	35.18	27.78	10.0	5.7	Karpathos, Greece
2020-02-23T05:53:01	38.45	44.42	10.0	5.8	Saray, Turkey
2020-02-23T16:00:31	38.50	44.37	10.0	6.0	Saray, Turkey
2020-06-14T14:24:29	39.42	40.71	10.0	5.9	Yedisu, Turkey
2020-06-15T06:51:31	39.42	40.75	10.0	5.5	Yedisu, Turkey

Table 3. List of teleseismic events used for P-receiver functions analysis.

Origin Time	Latitude (°)	Longitude (°)	Depth (km)	Magnitude (Mw)	Region
2017-02-10T14:03:43	9.91	125.45	15.0	6.5	Philippines
2017-03-14T02:51:16	6.15	92.30	10.0	6.0	India
2017-04-08T07:09:23	13.77	120.94	14.3	5.9	Philippines
2017-04-10T10:38:47	5.68	127.20	13.0	5.8	Philippines
2017-04-11T21:21:00	7.68	124.81	8.3	5.8	Philippines
2017-04-28T20:23:17	5.50	125.07	26.0	6.9	Philippines
2017-05-09T01:54:14	24.45	126.32	10.0	6.0	Japan
2017-07-20T00:11:24	37.42	141.59	31.0	5.8	Japan
2017-07-26T10:32:57	26.90	130.18	12.0	6.0	Japan
2017-08-05T00:30:41	6.11	125.42	76.0	5.8	Philippines
2017-08-08T13:19:49	33.19	103.86	9.0	6.5	China
2017-09-20T16:37:16	37.98	144.66	11.0	6.1	Japan
2017-09-26T20:22:11	40.34	142.34	37.0	5.8	Japan
2017-10-06T07:59:32	37.50	144.02	9.0	6.2	Japan
2017-10-19T09:02:02	28.32	131.21	14.0	5.9	Japan
2017-11-09T07:42:11	32.52	141.44	12.0	6.0	Japan
2017-11-16T09:43:33	32.22	140.55	59.0	5.8	Japan
2017-11-17T22:34:19	29.83	94.98	8.0	6.4	China
2017-11-18T16:07:00	2.46	128.15	8.0	5.8	Indonesia
2017-12-21T03:00:18	29.29	142.65	10.0	5.8	Japan
2018-01-11T18:26:24	18.37	96.07	9.0	6.0	Burma
2018-01-24T10:51:19	41.10	142.43	31.0	6.3	Japan
2018-01-25T01:15:58	8.25	91.77	10.0	5.8	India
2018-02-04T13:56:41	24.16	121.71	12.0	6.1	Taiwan
2018-03-07T04:40:12	45.77	152.38	32.0	5.8	Kuril Islands
2018-04-05T03:53:38	6.83	126.78	34.0	6.0	Philippines
2018-04-15T19:30:43	1.41	126.88	34.0	6.0	Indonesia
2018-05-05T06:19:05	14.57	123.92	18.0	6.1	Philippines
2018-07-07T11:23:50	35.11	140.64	40.0	5.9	Japan
2018-08-10T18:12:07	48.46	154.94	27.0	6.0	Russia
2018-09-05T18:07:59	42.69	141.93	35.0	6.6	Japan
2018-10-09T07:45:11	49.40	156.24	19.0	6.1	Russia
2018-10-10T23:16:02	49.29	156.30	20.0	6.5	Russia

2018-10-23T04:34:58	24.12	122.60	30.0	5.8	Japan
2018-11-04T19:26:03	44.55	145.66	9.0	5.9	Russia
2018-11-29T20:21:44	0.23	97.00	9.9	5.8	Indonesia
2018-12-23T19:32:22	30.41	87.62	10.0	5.8	China
2018-12-29T03:39:09	5.90	126.92	60.2	7.0	Philippines
2019-01-06T17:27:18	2.26	126.76	43.2	6.6	Indonesia
2019-01-08T12:39:30	30.59	131.04	35.0	6.3	Japan
2019-02-08T11:55:07	9.85	126.58	20.0	5.9	Philippines
2019-03-06T00:13:00	8.54	126.92	16.0	5.8	Philippines
2019-03-08T15:06:12	10.38	126.01	30.0	6.0	Philippines
2019-03-24T04:37:35	1.66	126.40	45.0	6.1	Indonesia
2019-04-11T08:18:21	40.41	143.30	18.0	6.0	Japan
2019-04-18T05:01:06	24.04	121.65	20.0	6.1	Taiwan
2019-04-23T20:15:50	28.41	94.56	14.0	5.9	India
2019-04-23T05:37:53	11.75	125.20	56.0	6.4	Philippines
2019-05-31T10:12:32	6.28	126.48	98.7	6.1	Philippines
2019-06-03T05:57:09	0.38	97.72	19.0	5.8	Indonesia
2019-06-18T13:22:19	38.64	139.48	12.0	6.4	Japan
2019-07-07T15:08:40	0.51	126.19	35.0	6.9	Indonesia
2019-08-04T10:23:03	37.76	141.60	38.0	6.3	Japan
2019-08-07T21:28:03	24.48	121.93	20.8	5.8	Taiwan
2019-08-28T23:46:40	41.07	143.00	23.8	5.9	Japan
2019-09-29T02:02:51	5.68	126.55	73.0	6.2	Philippines
2019-10-31T01:11:19	6.91	125.18	10.0	6.5	Philippines
2019-11-14T16:17:40	1.62	126.42	33.0	7.1	Indonesia
2019-11-14T21:12:54	1.54	126.42	23.0	6.0	Indonesia
2019-11-15T01:17:38	1.62	126.35	35.0	5.9	Indonesia
2019-11-16T10:19:13	1.57	126.33	24.0	5.9	Indonesia
2019-11-20T23:50:43	19.45	101.36	10.0	6.2	Thailand
2019-11-23T12:11:15	1.64	132.81	5.0	6.2	Indonesia
2019-12-10T17:05:02	30.73	141.72	11.0	5.8	Japan region
2020-01-07T06:05:19	2.35	96.36	17.0	6.3	Indonesia
2020-01-29T23:46:56	0.71	126.33	27.0	5.8	Indonesia
2020-02-06T13:40:05	5.45	126.57	19.0	6.0	Philippines
2020-03-25T02:49:21	48.96	157.70	57.8	7.5	Russia
2020-03-26T15:38:04	5.57	125.05	59.0	6.1	Philippines
2020-04-05T18:37:10	1.40	126.44	42.0	6.0	Indonesia
2020-04-16T11:45:23	22.80	94.03	10.0	5.9	Myanmar
2020-04-19T20:39:05	38.90	142.00	38.0	6.3	Japan
2020-05-10T23:58:33	36.36	141.13	31.0	5.8	Japan
2020-06-24T19:47:45	35.47	141.07	29.1	5.9	Japan
2020-07-22T20:07:19	33.14	86.86	10.0	6.3	western Xizang
2020-07-27T17:32:45	9.02	126.27	43.4	5.8	Philippines
2020-07-30T00:35:56	30.63	141.77	12.8	5.8	Japan region
2020-09-06T00:21:10	1.67	126.56	30.0	5.9	Indonesia
2020-09-09T07:18:40	4.21	126.64	18.0	5.8	Philippines
2020-09-12T02:44:10	38.76	142.25	32.1	6.1	Japan
2020-09-20T22:13:15	9.22	126.73	10.0	5.8	Philippines

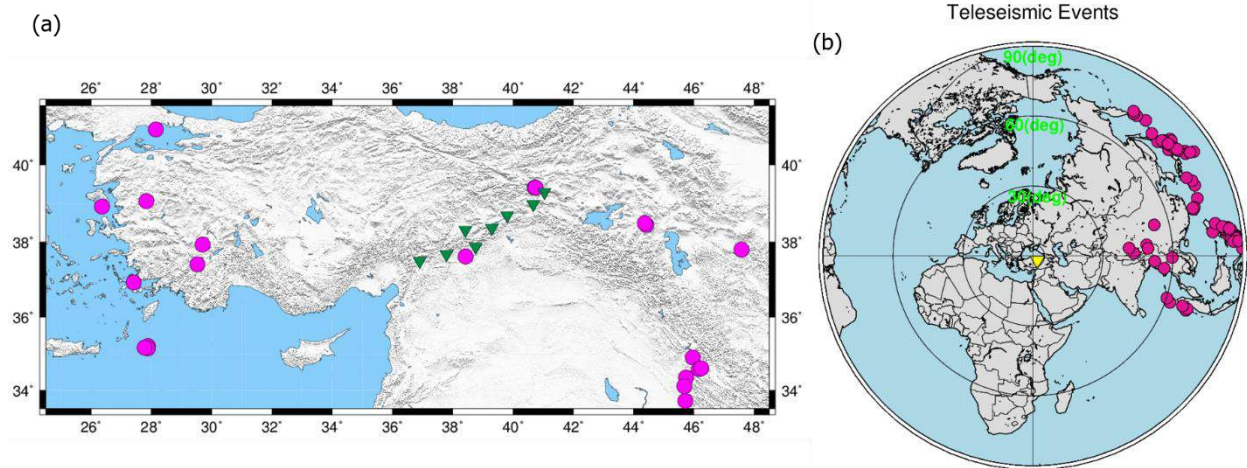


Figure 2. The maps showing the distribution of (a) regional events ($4^{\circ} \leq \Delta \leq 10^{\circ}$) for calculation of Rayleigh wave group velocity dispersion curves and (b) teleseismic events ($30^{\circ} \leq \Delta \leq 90^{\circ}$) for calculation of P-receiver functions recorded at seismic broadband stations in the East Anatolian region. The green triangles represent the seismic stations in (a), the purple circles show the earthquake epicenters in (a) and (b). The yellow triangle shows the study region in (b).

4. Methods

P-receiver functions and Rayleigh wave group velocity dispersion techniques are widely employed to image the earth's subsurface structures through the recorded seismic response at the three-component broadband stations (Abdul Latiff and Khalil, 2019). The software package Computer Programs in Seismology (Herrmann, 2013) are used for the procedure of these techniques. The program joint96 (Herrmann, 2013) inverts simultaneously both dispersion curves and P-receiver functions stacks. The details of the algorithms were given below.

4.1. P-Receiver Functions

The P-receiver function method was first developed by Langston (1977) and Vinnik (1977) to isolate the near-receiver structure from the source and distant structure. Receiver functions are time-series computed from three-component seismograms and sensitive to the Earth structure below the receiver, which is computed deconvolving the vertical component of the horizontal component (Gonzalez et al., 2012). The main phases of a receiver function generally include P-to-S conversion upon refraction (P_s) and multiple reverberations between surface and discontinuity such as P_pP_s , $P_pS_s+P_sP_s$, and P_sS_s arrival at 0 and 25 sec time interval after the first P arrival (Andriampenanana et al., 2017). Before calculating P-receiver functions, firstly the waveforms in ZNE (vertical, north-south, east-west) are rotated vertical components into radial and tangential components (ZRT system) using back azimuth information. The time window of components is cut to a length of 90 s (10 s before P arrival and 80 s after P arrival). After rotation of the three-component data, radial P-receiver functions are obtained by the iterative time-domain deconvolution technique (Ligorria and Ammon, 1999) with 600 iterations. Iteration number means an improved fit between two iterations (Ammirati et al., 2015). In the process of calculation radial receiver functions, the vertical-component seismogram is subtracted from the radial-component seismogram, and the procedure is repeated to estimate other spike lags and amplitudes. With each additional spike in the receiver function, the misfit between the vertical and receiver-function convolution and the radial-component seismogram is reduced, and the iteration stops when the reduction in misfit with additional

spikes becomes insignificant (0.01 per cent) (Ligorria and Ammon, 1999). In the deconvolution process, the Gaussian filter ($G(w)=\exp(-w^2/4a^2)$), where "w" is the angular frequency and "a" is a filter width parameter, is applied to remove high-frequency noise. The parameter "a" controls the resolution of layer thickness and frequency content (Agrawal et al., 2015b). Gaussian filter parameter only uses 1.0 and 2.5 to limit crust and uppermost mantle. The radial component of the P-receiver function is presented as a function of back-azimuth for each station (Figures 5-12). Then, for each station, all deconvolved P-receiver functions are stacked to increase the signal-to-noise ratio and enhance the quality of P-to-S converted phases by using the SAC (Helffrich et al., 2013).

4.2. Rayleigh Wave Group Velocities

Surface wave modeling is the most sensitive to shallow S-wave velocities of the crust and upper mantle and allows an alternative strategy for finding accurate velocity models associated with receiver functions (Agrawal et al., 2015b). Also, surface wave group velocities provide information on the long-wavelength vertical averages of the S-wave structure (Badawy et al., 2018). Rayleigh waves are generally easy to isolate on the vertical component of a seismogram. For this reason, the fundamental-mode Rayleigh wave group velocities, in the period range from 5 to 45 s, are computed by using multiple filter technique (MFT) (Dziewonski et al., 1969) and phase match filtering (PMF) (Goforth and Herrin, 1979), which is isolated fundamental mode, (Herrmann, 2013). The MFT applies a narrow bandpass Gaussian filter to the broad-band, vertical-component, displacement seismogram over many different periods (Herrmann, 2013). The group velocity dispersion curves are manually picked from the maximum amplitudes in a plot of group velocity (km/s) versus period (s). To minimize the influence of lateral heterogeneity along the wave propagation path (Çınar and Alkan, 2017), the group velocity dispersion curves obtained for each station are averaged statistically (Figures 3 and 4), used in the joint inversion.

4.3. Joint Inversion

Jointly inverting receiver functions with Rayleigh wave group velocity dispersion data helps to reduce nonuniqueness because the dispersion data help to constrain absolute S-wave velocity values and receiver functions primarily sensitive to

large wave gradients (Gilligan et al., 2014). In this study, the joint inversion procedure developed by Julia et al. (2000) was used to obtain the S-wave velocity models for each station. This technique performs using an iterative damped least-squares algorithm by minimizing the objective function, defined by

the trade-off between resolution and stability (Julia et al., 2000), is generally fixed at $\sigma = 0.4-0.5$ after testing several damping parameters. The parameter p , which is the influence of either data on the minimization, has been chosen by trial and error to be in the range from 0.1 to 1.0, so that the resulting models have the best percentage of fit, and dispersion curves consistent. If the p -value is chosen as 0, it is mean that includes only receiver functions, or if the p -value is chosen as 1, inversion includes only Rayleigh wave data (Julia et al., 2000). For the maximum contribution of receiver functions and

Herrmann and Ammon (2002). The time window of the stacked P-receiver function for joint inversion is set to -5 and +20 sec. A damping parameter is necessary to avoid rapid and improbable velocity variations with depth (Ammirati et al., 2015). The modest damping parameter in the inversion, which is balanced dispersion curves, different p values are tested such as 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, and 0.8. Finally, it is found the value of 0.4 and 0.5 for a good fit of both data sets. The weights of the upper crust layers are chosen as 0.8 and the weights are 0.4 for the lower crust and the upper mantle layers. This choice has been adopted on account of the available independent information. The initial model in this study consists of Litho1.0 (Pasyanos et al., 2014) and AK135-F continental model (Kennett et al., 1995) up to 100 km depth. The layers have 2 km thick at a depth of 50 km, and 5 km from 50 km and 100 km depth.

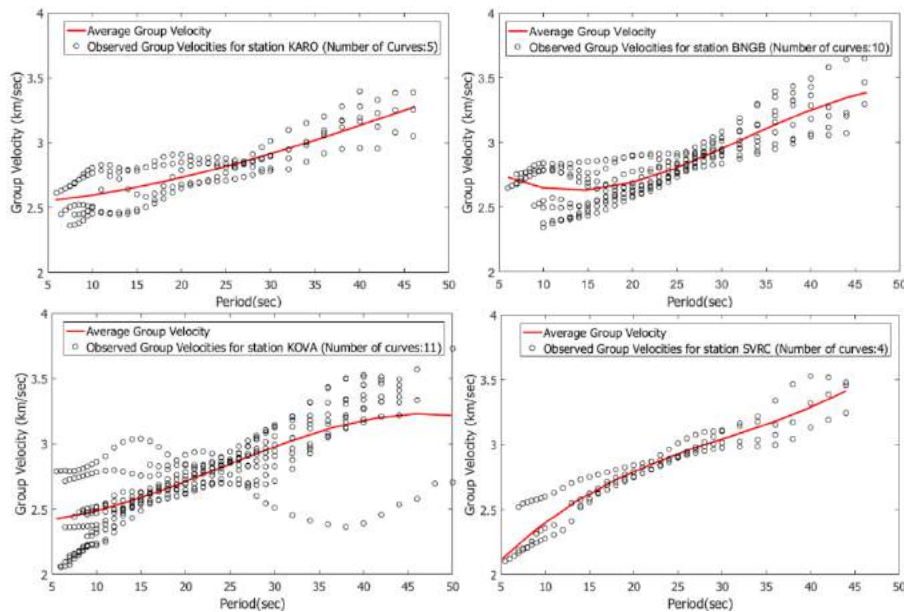


Figure 3. The Rayleigh wave average (solid red lines) and observed (black dotted) group velocity curves for stations KARO, BNGB, KOVA and SVRC.

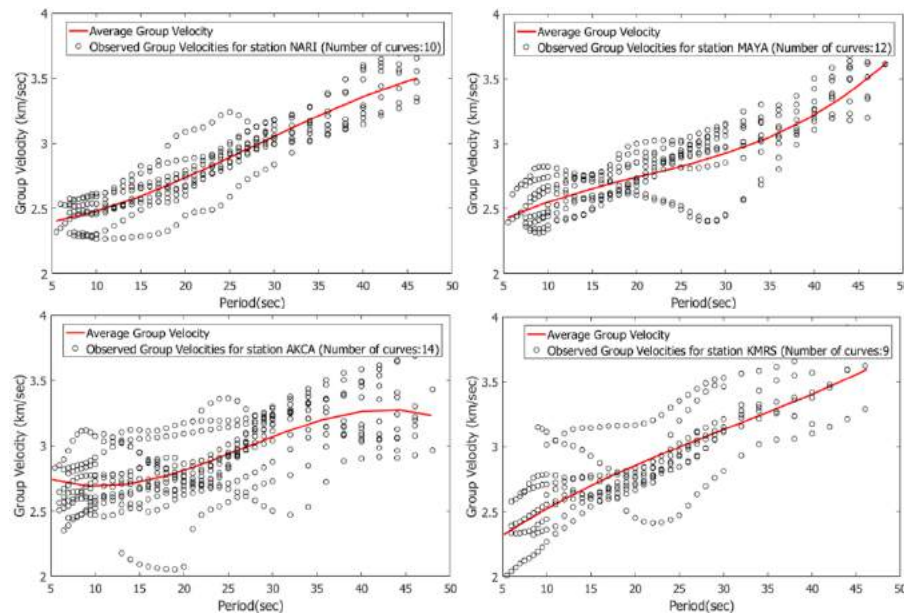


Figure 4. The Rayleigh wave average (solid red lines) and observed (black dotted) group velocity curves for stations NARI, MAYA, AKCA and KMRS.

5. Results and Discussion

P-receiver functions are primarily sensitive to shear wave velocity contrasts in layered structures while Rayleigh wave *e-ISSN: 2148-2683*

group velocity dispersion curves are sensitive to averaged shear wave velocities (Agrawal et al., 2015b). Combining the average

Rayleigh wave dispersion curve and P-receiver functions stacks can effectively overcome the resolution gap associated with individual data sets (Desphande and Mohan, 2016). In this section, the results of joint inversion were interpreted in the northeast-southwest direction, and results were compared with previous studies. In the interpretation of P-receiver functions waveforms, the ray diagram of Ammon et al. (1990) is used, showing the ray paths of the major P-to-S converted phases and associated multiples (Akpan et al., 2016; Abdul Latiff and Khalil, 2019).

For the station KARO located in the northeast of the study region, the number of P-receiver functions for the stack was taken as 21, and the number of Rayleigh wave group velocity

curves is 5 for the average curve (Figure 5). After the first P arrival, the Ps phase (Moho converted phase) appears at ~5 s. Then, PpPs phase at around 16 s and PpSs + PsPs phase at around 21 s (the reflections from the Moho and the Earth's surface) are observed in P-receiver functions (Figures 5a and 5c) (Akpa et al., 2016). The average Rayleigh wave group velocity curve was obtained 6 to 46 s (Figure 5b). According to the S-wave velocity model (Figure 5d), station KARO has an estimated crustal thickness of ~43 km ($V_s=4.22$ km/s). The Conrad discontinuity (upper crust-lower crust boundary or transition granitic-basaltic transition (Abdelwahed et al., 2013) can be interpreted at approximately 16 km ($V_s=3.64$ km/s). The low-velocity zone (LVZ) in the upper crust ($V_s\sim 3.08$ km/s) is between 4 and 16 km.

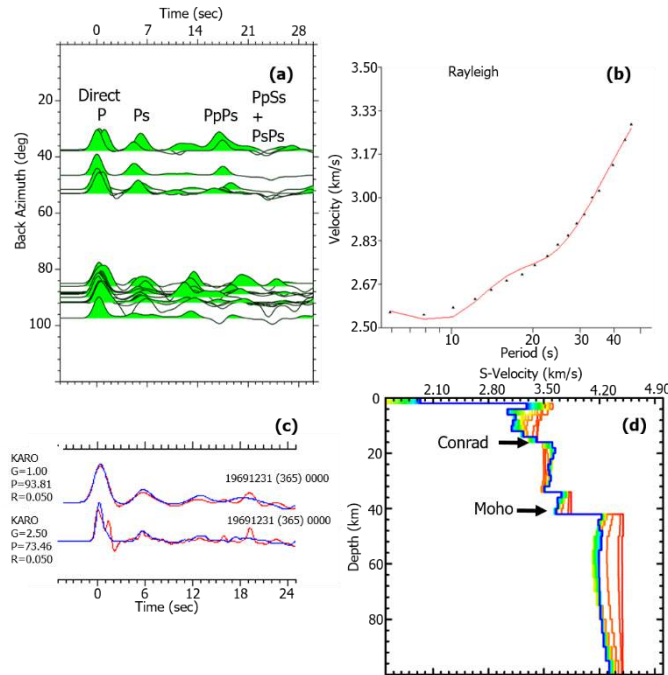


Figure 5. The results from joint inversion for station KARO (a) 21 P-receiver function waveforms sorted by Back Azimuth (b) Average Rayleigh wave group velocity curve (black circles) and its prediction (red solid curve) (c) Receiver functions stacks (blue curve) and their predictions (red curve). G, P, and R are the Gaussian filter parameter, the percentage of fit, and the average ray parameter (sec/km) at the left of each trace, respectively. (d) After 30 iterations, the inverted S-wave velocity model (the red line is the initial model and the blue line is the final model).

For the station BNGB, the number of P-receiver functions was considered as 48 for the stack, and the number of Rayleigh wave group velocity curves is 10 for the average curve (Figure 6). The results of P-receiver function at station BNGB show a coherent Ps converted wave arrival from the Moho boundary at ~5 s. At the later time, the PpPs phase can be seen clearly at 17 s with weak PpSs +PsPs multiple at 21 s (Figure 6a and 6c). The periods of average Rayleigh wave group velocity curve is between 6 and 46 s (Figure 6b). According to the S-wave velocity model (Figure 6d), the station BNGB has Moho depths of ~44 km ($V_s=4.34$ km/s), and Conrad discontinuity appears as ~18 km ($V_s=3.60$ km/s). The LVZ at the depth of 10 ± 4 km was observed in the upper crust ($V_s\sim 3.0$ km/s).

For the station KOVA, the number of P-receiver functions was used as 37 for the stack, and the number of Rayleigh wave group velocity curves is 11 for the average curve (Figure 7). Although the Ps phase does not observe clearly in the P-receiver functions after the first P phase, it may be said to be arriving around 8 seconds. This may be due to the percentage of fit not being too high. Similarly, the PpSs+PsPs phase is also missing

(Figures 7a and 7c). The average Rayleigh wave group velocities are in the period range between 5 and 45 s (Figure 7b). The crustal thickness beneath the station KOVA is ~44 km ($V_s=4.27$ km/s) (Figure 7d). It can be said that the Conrad discontinuity is around 16 km ($V_s=3.68$ km/s). The low-velocity layers were detected in the depth of 4-8 km prominently ($V_s\sim 2.88$ km/s).

For the station SVRC, the number of P-receiver functions was taken as 20 for the stack, and the number of Rayleigh wave group velocity curves is 4 for the average curve (Figure 8). The Ps phases could not be observed crudely due to data quality is not very high. However, the Ps phase from the Moho and PpPs phase can be interpreted around 5 s and 14 s, respectively (Figures 8a and 8c). The period range is from 5 to 44 s in station SVRC (Figure 8b). The velocity structure for station SVRC in Figure 8d shows the Moho depth of 45 km ($V_s=4.36$ km/s) and the Conrad depth of ~18 km ($V_s=3.70$ km/s). The upper crust is characterized by low velocities, appeared the LVZ at the depth of 4 km (~ 2.54 km/s).

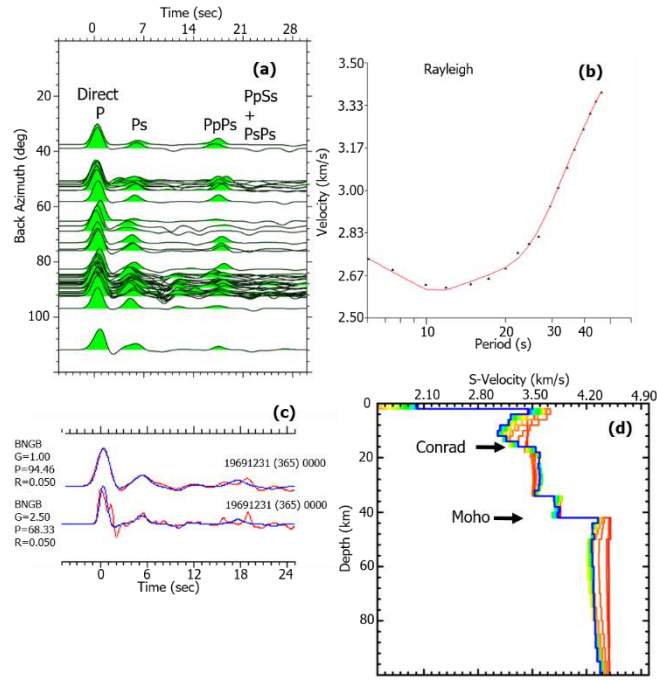


Figure 6. The results from joint inversion for station BNGB (a) 48 P-receiver Function waveforms sorted by Back Azimuth (b) Average Rayleigh wave group velocity curve (black circles) and its prediction (red solid curve) (c) Receiver functions stacks (blue curve) and their predictions (red curve). G, P, and R are the Gaussian filter parameter, the percentage of fit, and the average ray parameter (sec/km) at the left of each trace, respectively. (d) After 30 iterations, the inverted S-wave velocity model (the red line is the initial model and the blue line is the final model).

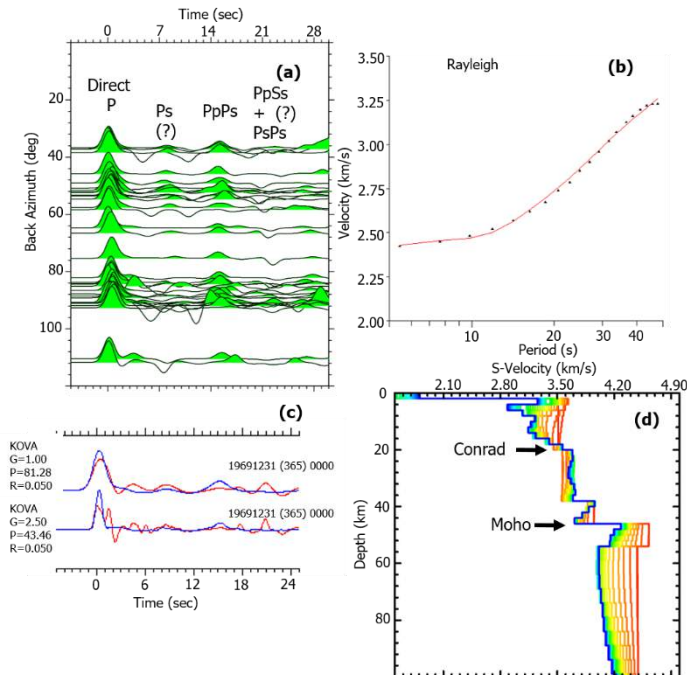


Figure 7. The results from joint inversion for station KOVA (a) 37 P-receiver Function waveforms sorted by Back Azimuth (b) Average Rayleigh wave group velocity curve (black circles) and its prediction (red solid curve) (c) receiver Functions stacks (blue curve) and their predictions (red curve). G, P, and R are the Gaussian filter parameter, the percentage of fit, and the average ray parameter (sec/km) at the left of each trace, respectively. (d) After 30 iterations, the inverted S-wave velocity model (the red line is the initial model and the blue line is the final model).

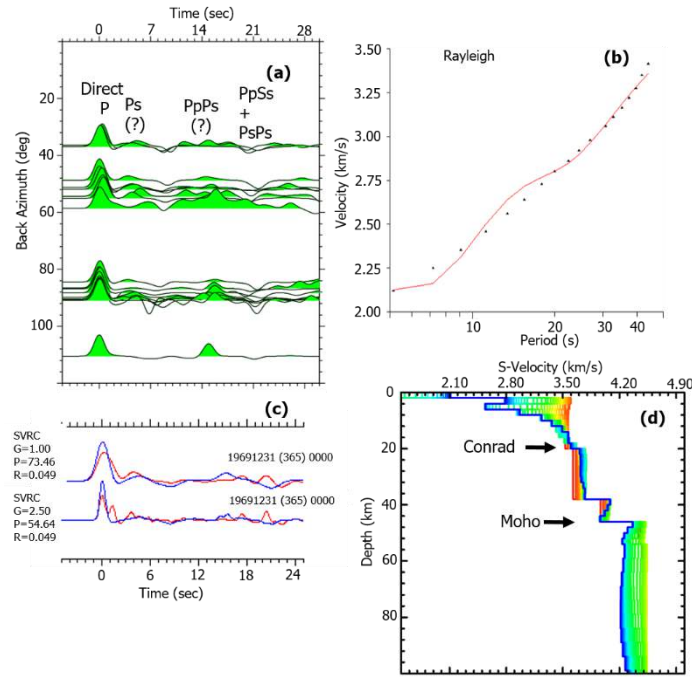


Figure 8. The results from joint inversion for station SVRC (a) 20 P-receiver Function waveforms sorted by Back Azimuth (b) Average Rayleigh wave group velocity curve (black circles) and its prediction (red solid curve) (c) Receiver functions stacks (blue curve) and their predictions (red curve). G, P, and R are the Gaussian filter parameter, the percentage of fit, and the average ray parameter (sec/km) at the left of each trace, respectively. (d) After 30 iterations, the inverted S-wave velocity model (the red line is the initial model and the blue line is the final model).

For the station NARI, the number of P-receiver functions was considered as 39 for the stack, and the number of Rayleigh wave group velocity curves is 10 for the average curve (Figure 9). The Ps and PpSs+PsPs phases are detected at ~4 s and ~17 s, respectively, although the PpPs phase is not visible (Figures 9a and 9c). The periods of average Rayleigh wave group velocity curve is obtained from 5 to 46 s (Figure 9b). The inversion results show the Moho at 44 km with $V_s=4.38$ km/s and Conrad at ~16 km with $V_s=3.60$ km/s (Figure 9d). The LVZ at the depth of 4-8 km was observed in the upper crust ($V_s\sim 2.97$ km/s).

For the station MAYA, the number of P-receiver functions was used as 43 for the stack, and the number of Rayleigh wave group velocity curves is 12 for the average curve (Figure 10). After the first P arrival, the Ps phase from the Moho appears at ~5 s. After that, the PpPs phase at ~14 s and PpSs + PsPs phases at around 21 s were observed in P-receiver functions (Figures 10a and 10c). The period of the average Rayleigh wave group velocity dispersion curve is in the range of 5-45 s (Figure 10b). According to the S-wave velocity model in Figure 10d, the thickness of crust is 44 km ($V_s=4.33$ km/s) and the Conrad transition is ~16 km ($V_s=3.57$ km/s). Like other joint inversion results, the LVZ was observed in station MAYA at the depth of 4-16 km ($V_s\sim 2.89$ km/s).

For the station AKCA, the number of P-receiver functions was taken as 59 for the stack, and the number of Rayleigh wave group velocity curves is 14 for the average curve (Figure 11). The P to S converted phase Ps which delineates the crust-upper mantle interface is nearly observed at 4-5 s. The PpPs and

PpSs+PsPs phases were detected at about 13 s and 19 s, respectively (Figure 11a and 11c). The averaged group velocity curve of the fundamental mode of Rayleigh wave is estimated for the period range from 5 to 44 s (Figure 11b). Conrad discontinuity is found at ~18 km depth ($V_s=3.57$ km/s) and the Moho discontinuity is at about ~42 km ($V_s=4.28$ km/s) (Figure 11d). The low-velocity layers were noticed with S-wave velocity ~3.12 km/s between 6 and 14 km depth.

For the station KMRS located in the southwest of the study region, the number of P-receiver functions was considered as 27 for the stack, and the number of Rayleigh wave group velocity curves is 9 for the average curve (Figure 12). Similar to the results of station AKCA, at KMRS station after deconvolving P-receiver functions, it was found the converted Ps phase at about 5 s, PpPs phase at about 13 s, and PpSs+PsPs phase about 18 s (Figure 12a and 12c). The average Rayleigh wave group velocity is between periods of 5 and 44 s (Figure 12b). In Figure 12d, the Moho discontinuity was marked at approximately 42 km ($V_s=4.48$ km/s) and the Conrad discontinuity was observed 16 km depth ($V_s=3.66$ km/s). The LVZ was found at the depth of 8 ± 4 km (~2.83 km/s) in the upper crust.

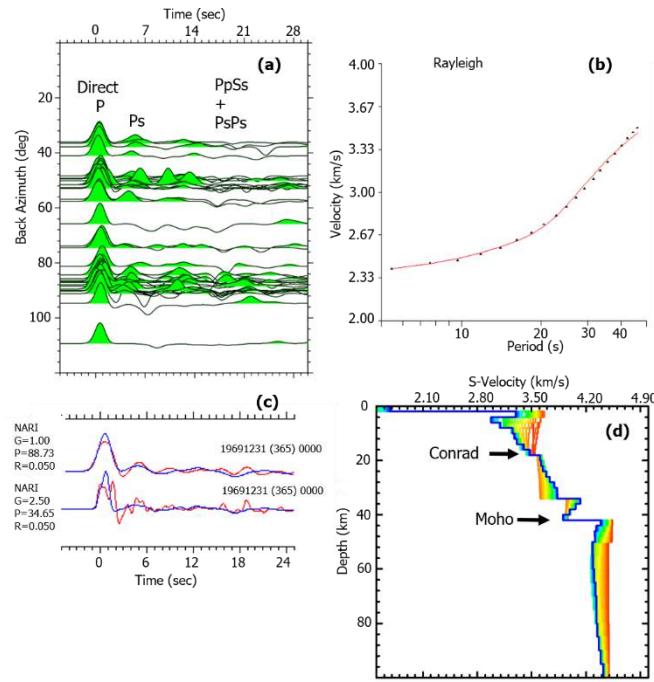


Figure 9. The results from joint inversion for station NARI (a) 39 P-receiver Function waveforms sorted by Back Azimuth (b) Average Rayleigh wave group velocity curve (black circles) and its prediction (red solid curve) (c) Receiver functions stacks (blue curve) and their predictions (red curve). G, P, and R are the Gaussian filter parameter, the percentage of fit, and the average ray parameter (sec/km) at the left of each trace, respectively. (d) After 30 iterations, the inverted S-wave velocity model (the red line is the initial model and the blue line is the final model).

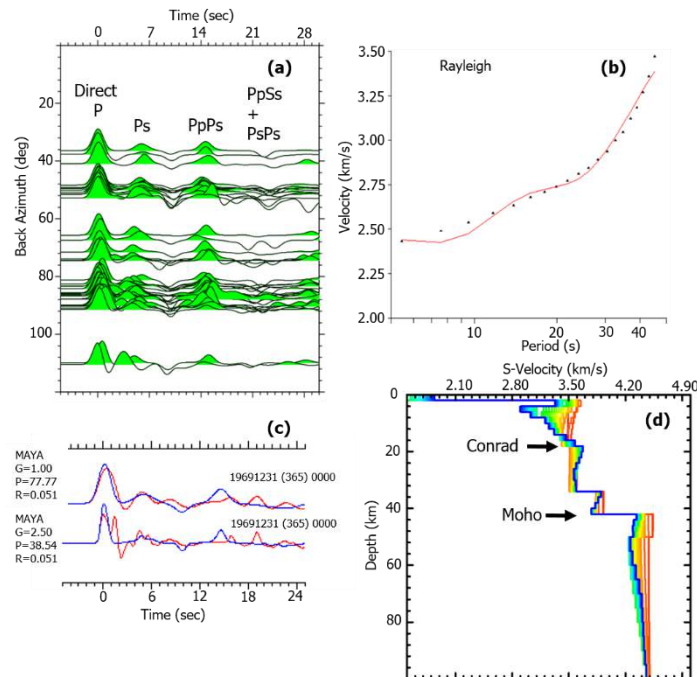


Figure 10. The results from joint inversion for station MAYA (a) 43 P-receiver Function waveforms sorted by Back Azimuth (b) Average Rayleigh wave group velocity curve (black circles) and its prediction (red solid curve) (c) Receiver functions stacks (blue curve) and their predictions (red curve). G, P, and R are the Gaussian filter parameter, the percentage of fit, and the average ray parameter (sec/km) at the left of each trace, respectively. (d) After 30 iterations, the inverted S-wave velocity model (the red line is the initial model and the blue line is the final model).

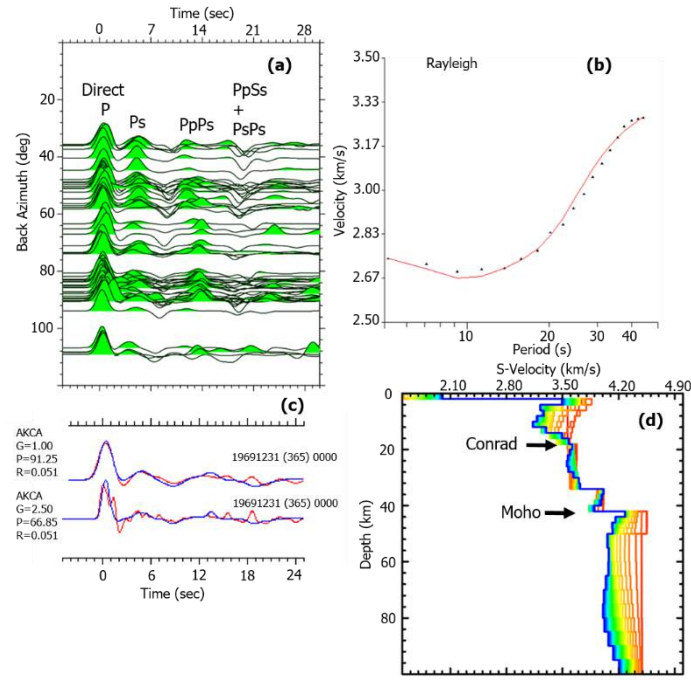


Figure 11. The results from joint inversion for station AKCA (a) 59 P-receiver Function waveforms sorted by Back Azimuth (b) Average Rayleigh wave group velocity curve (black circles) and its prediction (red solid curve) (c) Receiver functions stacks (blue curve) and their predictions (red curve). G, P, and R are the Gaussian filter parameter, the percentage of fit, and the average ray parameter (sec/km) at the left of each trace, respectively. (d) After 30 iterations, the inverted S-wave velocity model (the red line is the initial model and the blue line is the final model).

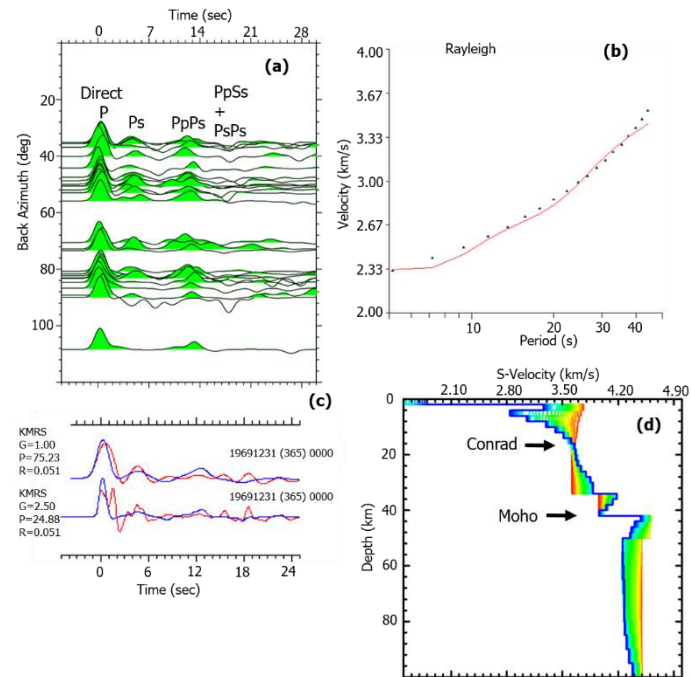


Figure 12. The results from joint inversion for station KMRS (a) 27 P-receiver Function waveforms sorted by Back Azimuth (b) Average Rayleigh wave group velocity curve (black circles) and its prediction (red solid curve) (c) Receiver functions stacks (blue curve) and their predictions (red curve). G, P, and R are the Gaussian filter parameter, the percentage of fit, and the average ray parameter (sec/km) at the left of each trace, respectively. (d) After 30 iterations, the inverted S-wave velocity model (the red line is the initial model and the blue line is the final model).

In this section, the results of this study were compared with literature studies achieved in and around the EAFZ. In the S-wave velocity models, the presence of low-velocity layers in the upper crust was clearly observed varying between 4-14 km depths, and S-wave velocities change from 2.5 km/s to 3.1 km/s. The Conrad discontinuity obtained from S-wave velocity models (Figures 5-12), which is the boundary of the upper and lower

crust, was observed at a depth of approximately 20 km ($V_s \approx 3.65$ km/s). This result is consistent with previous studies. The crust-upper mantle boundary is around 44 km ($V_s = 4.33$ km/s) from the northeast to the southwest. The upper mantle S-wave velocity variations from the joint inversion results of each station are generally similar and have uniform change (Figures 5-12). Zor et al. (2003) observed the low-velocity layers at the

depth of 15-25 km associated with the presence of the young basaltic volcanics and the crustal thickness of 45 km ($V_s \sim 3.7$ km/s) in the northeast of EAFZ. Al-Lazki et al. (2004) mapped Pn-velocities to explain the upper mantle dynamics in the junction of the Arabian, Eurasian and African plates. They found the low Pn-velocities (≤ 8 km/s) in and around Eastern Turkey, associated with the latest stage of intense volcanism has been started since the late Miocene. Angus et al. (2006) determined crust and upper-mantle seismic discontinuities in the northwest of EAFZ. The crustal low-velocity zone was observed in the station KRLV at ~ 20 km depth, and may represent a pocket of partial melt in the middle crust and quaternary volcanic centers. The estimated Moho was roughly 35 km between $37.0\text{--}39.0^\circ\text{N}$ and $38.0\text{--}42.0^\circ\text{E}$. Bektaş et al. (2007) recommended the Curie point depths over the region of the East Anatolia varied from 13 to 23 km. These depths, which may be associated with the brittle-ductile transition around 20 km depth, corresponded to magnetite-dominated mineralogy with the Curie point of 580°C and high-temperature depths. Using the data of the Eastern Turkey Seismic Experiment Project (ETSE), Özacar et al. (2010) calculated the Moho depth between 40 and 45 km in the northeast of EAFZ. Bakirci et al. (2012), using the surface wave tomography algorithm, observed slow velocity anomalies that were related to widespread Neogene and Holocene volcanism. Gökalp (2012), using the data of ETSE just like Özacar et al. (2010), revealed widespread low-velocity anomalies at varying depths of the upper crust of the East Anatolian plateau. Based on the receiver functions analysis, Tezel et al. (2013) interpreted the crustal structure of Turkey. According to their results, the Moho varied between 40 and 49 km with an average S-wave velocity of 4.3 km/s in the East Anatolian region. Vanacore et al. (2013) detected that the Moho depth around the EAFZ was between 35-40 km. Warren et al. (2013) obtained the low-shear velocity anomalies (≤ 3.5 km/s) from 5 to 20 km depth interval beneath the EAFZ. These anomalies were associated with the Neogene volcanics and the continued presence of hot rock at shallower depths. Delph et al. (2015) found that low-shear velocities in the upper crust (between 10 and 25 km) stemmed from the presence of fluids in the fault zone and rheological weakening of the lower crust in the Eastern Anatolia. According to velocity sections, Moho depth was nearly 45 km in the same region. Their region corresponds to the vicinity of the station MAYA and NARI in this study. Kind et al. (2015) found that the lithosphere-asthenosphere boundary changed between 80 and 100 km depth beneath Turkey. In the study of Türkoğlu et al. (2015), the EAFZ was underlain low resistivity zone that extended into the crust (between 10 and 20 km depths). The low resistivity likely indicated a region of elevated fluid content, most likely partial melt. Based on the three-dimensional joint inversion of topography, gravity, and geoid data, Motavalli-Anbaran et al. (2016) obtained that Moho varied from 37 ± 3 km in the Bitlis suture to 45 ± 3 km in the East Anatolian plateau. Also, the strongly thinned lithosphere (100 ± 10 km) was observed in the East Anatolian Accretionary Complex. Lü et al. (2017) studied Pn velocity changes with the seismic tomography algorithm from eastern Europe to western China. They calculated low Pn velocities (~ 8.0 km/s) around the Dead Sea Fault Zone, caused by hot material upwelling in this rift zone. Oruç et al. (2017) found that average depths of the Lithosphere-Asthenosphere boundary, Moho, and Conrad (brittle upper crust-ductile lower crust) in the EAFZ are 85 km, 40 km, and 18 km, respectively. Çırmık (2018) observed high heat flow, high seismicity which was occurred in the upper crust (~ 20 km depth), shallower curie

point depth, and the low V_s values (~ 3.50 km/s) along the EAFZ. These results showed the high geothermal potential of the region and verify the lateral brittle-ductile transition at the depth of ~ 16 km. Mahatsente et al. (2018) constructed the lithospheric mantle profiles along 38 to 44°E . According to their profiles, lithospheric depth was thinner ~ 70 to ~ 90 km along the EAFZ. This was associated with the delamination of the Anatolian lithosphere and may be asthenospheric flow. Ozer et al. (2019) applied the local earthquake tomography method in the EAFZ and determined four main seismic crustal layers down to 40 km. The upper crust (0-8 km) had low-velocity anomalies associated with sedimentary units. Conrad discontinuity was detectable at 20 km depth, while Moho depth was computed at depth of ~ 40 km in the region. The results of Salah and Şahin (2019) about the SE Anatolia showed that the low-velocity zones and high V_p/V_s ratios at the depth interval of 10 and 22 km were more widely distributed beneath the active fault segments and the region had generally thick sedimentary cover. The high values were related to the possible existence of over-pressurized fluids in the crust, which can trigger large crustal earthquakes along with the western part of the EAFZ. In the end, the crust and most-upper mantle structure along with the EAFZ is searched at a regional scale and interpreted in this study. When compared with previous seismological studies, models obtained from present study generally agree with estimates of S-wave velocity values and discontinuity depths from previously published receiver functions, seismic tomography and surface wave dispersion studies. The LVZ is saliently proposed beneath the upper crust and reflects the depth of earthquakes occurred, and the Moho velocities are consistent with continental values.

6. Conclusions

In this study, the S-wave velocity structure was examined up to 100 km depth by joint inversion of stacked P-receiver functions and Rayleigh wave group velocity dispersion data. All S-wave velocity models show a thin layer of relatively low velocity ($2.8 \text{ km/s} < V_s < 3.1 \text{ km/s}$) between depths of approximately 4 and 16 km (Figure 13). It may be attributed that existing highly fractured rock and fault gouge along the EAFZ can generate an LVZ in the upper crustal portion of the studied area, where earthquakes are densely accumulated within this LVZ. In Figure 13, the cross-section in the northeast-southwest direction was obtained from the inverted S-wave velocity models of each station. The cross-section shows that the earthquakes, whose focal depths are from the surface to 50 km depth, located in the EAFZ. It can be seen that the number of earthquakes, occurred in the region, diminishes swiftly after 20 km depth. The compatibility between the seismicity of the region and the Earth's discontinuities associated with the S-wave velocity is very significant and essential for better seismic characterization such as focal mechanism determination and source parameter. According to the AFAD earthquake catalog, the regional events that are greater than $M \geq 4.0$ and time interval are 2000-2020 generally occur between 10 and 20 km depths. The depth-distribution of earthquake hypocenters indicates that the brittle-ductile transition along the EAFZ corresponds to a depth of approximately 20 km in which variation of S-wave velocity increases from 3.1 to 3.5 km/s. This shallow seismicity has mainly dominated the left-lateral strike-slip motion of the EAFZ segments. The Conrad discontinuity obtained in this study has a good correlation with the earthquake focal depths and regional seismicity. It is clear that average Moho depths were

obtained 43 ± 2 km along with the EAFZ. Below the Moho discontinuity, shear velocities in the uppermost mantle vary for similar trends. Finally, the new findings shed new light on

detailed information for studying the crust-uppermost mantle structural features of the EAFZ.

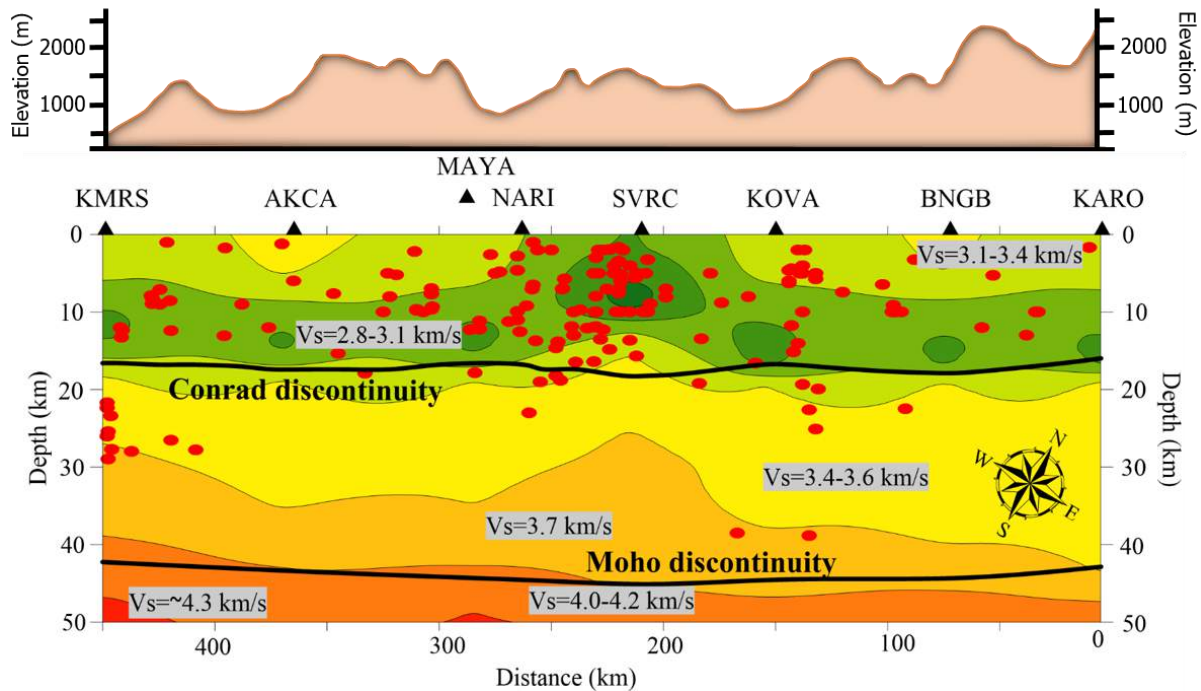


Figure 13. The 2-D crustal shear wave velocity cross-section beneath the EAFZ with the topography map. Black triangles represent broadband seismic stations, red dots represent the distribution of earthquake hypocenters that occurred between 2000 and 2020 with magnitudes greater than 4.0. The earthquake catalog information was taken from the AFAD.

7. Acknowledge

I would like to thank R.B. Herrmann and C.J. Ammon for making their codes (Computer Programs in Seismology, Version 3.30) available for the computation of receiver functions and surface wave dispersion. I would like the editor and reviewers for their valuable suggestions and constructive comments for improving the manuscript. Also, I am grateful to the EIDA and the AFAD for providing the broadband seismic data. Some figures were prepared by using Generic Mapping Tools (GMT) (Wessel et al., 2013).

References

Abdelwahed, M.F., El-Khepy, S., Qaddah, A. (2013). Three-dimensional structure of Conrad and Moho discontinuities in Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, 85, 87–102.

Abdul Latiff, A.H., Khalil, A.E. (2019). Crustal thickness and velocity structure of Malay Peninsula inferred from joint inversion of receiver functions and surface waves dispersion. *Journal of Asian Earth Sciences*, 169, 105–116.

Agrawal, M., Pulliam, J., Sen, M.K., Dutta, U., Pasyanos, M.E., Mellors, R. (2015a). Crustal and uppermost mantle structure in the Middle East: assessing constraints provided by jointly modelling Ps and Sp receiver functions and Rayleigh wave group velocity dispersion curves. *Geophys. J. Int.*, 201, 783–810.

Agrawal, M., Pulliam, J., Sen, M.K., Gurrrola, H. (2015b). Lithospheric structure of the Texas-Gulf of Mexico passive margin from surface wave dispersion and migrated Ps

receiver functions. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 16, 2221–2239.

Akpan, O., Nyblade, A., Okereke, C., Oden, M., Emry, E., Julià, J. (2016). Crustal structure of Nigeria and Southern Ghana, West Africa from P-wave receiver functions. *Tectonophysics*, 676, 250–260.

Al-Lazki, A., Sandvol, E., Seber, D., Barazangi, M., Türkelli, N., Mohamad, R. (2004). Pn tomographic imaging of mantle lid velocity and anisotropy at the junction of the Arabian, Eurasian and African Plates. *Geophysical Journal International*, 158, 1024–1040.

Ammirati, J.B., Patricia, A., Beck, S. (2015). A lithospheric velocity model for the flat slab region of Argentina from joint inversion of Rayleigh wave phase velocity dispersion and teleseismic receiver functions. *Geophys. J. Int.*, 202, 224–241.

Ammon, C.J., Randall, G.E., Zandt, G. (1990). On the non-uniqueness of receiver function inversions. *J. Geophys. Res.*, 95, 15303–15318.

Andriampenanana, F., Nyblade, A.A., Wyssession, M.E., Durrheim, R.J., Tilmann, F., Julia, J., Pratt, M.J., Rambolamanana, G., Aleqabi, G., Shore, P.J., Rakotondraibe, T. (2017). The structure of the crust and uppermost mantle beneath Madagascar. *Geophys. J. Int.*, 210, 1525–1544.

Angus, D., Wilson, D., Sandvol, E., Ni, J.F. (2006). Lithospheric structure of the Arabian and Eurasian collision zone in eastern Turkey from S-wave receiver functions. *Geophysical Journal International.*, 166, 1335–1346.

Badawy, A., Hegazi, M., Gaber, H., Korrat, I. (2018). Crustal structure of northern Egypt from joint inversion of receiver functions and surface wave dispersion velocities. *J Seismol*, 22, 697-719.

- Bakirci, T., Yoshizawa, K., Ozer, M.F. (2012). Three-dimensional S-wave structure of the upper mantle beneath Turkey from surface wave tomography. *Geophysical Journal International.*, 190(2), 1058–1076.
- Bektaş, Ö., Ravat, D., Büyüksaraç, A., Bilim, F., Ateş, A. (2007). Regional geothermal characterisation of East Anatolia from aeromagnetic, heat flow and gravity data. *Pure and Applied Geophysics.*, 164, 975–998.
- Bozkurt, E. (2001). Neotectonics of Turkey-a synthesis. *Geodyn Acta.*, 14, 3–30.
- Cheloni, D., Akinci, A. (2020). Source modelling and strong ground motion simulations for the 24 January 2020, Mw 6.8 Elazığ earthquake, Turkey. *Geophys. J. Int.*, 223, 1054–1068.
- Çoban, K.H., Sayıl, N. (2020). Different probabilistic models for earthquake occurrences along the North and East Anatolian fault zones. *Arabian Journal of Geosciences*, 13, 971.
- Çınar, H., Alkan, H. (2017). Crustal S-wave structure around the Lake Van region (eastern Turkey) from interstation Rayleigh wave phase velocity analyses. *Turkish J Earth Sci.*, 26, 73-90.
- Çırmık, A. (2018). Examining the crustal structures of Eastern Anatolia, using thermal gradient, heat flow, radiogenic heat production and seismic velocities (V_p and V_s) derived from Curie point depth. *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 59(2), 117–134.
- Delph, J.R., Zandt, G., Beck, S.L. (2015). A new approach to obtaining a 3D shear wave velocity model of the crust and upper mantle: an application to eastern Turkey. *Tectonophysics*, 665, 92–100.
- Desphande, A.A., Mohan, G. (2016). Seismic evidence of crustal heterogeneity beneath the Northwestern Deccan volcanic province of India from joint inversion of Rayleigh wave dispersion measurements and P receiver functions. *Journal of Asian Earth Sciences*, 128, 54–63.
- Dewey, J.F., Hempton, M.R., Kidd, W.S.F., Saroglu, F., Sengor, A.M.C. (1986). Shortening of continental lithosphere: The neo-tectonics of eastern Anatolia-a young collision zone. In *M. P. Coward and A. C. Reis (Eds.), Collision tectonics*, (3–36). London: Geological Society.
- Dziewonski, A., Bloch, S., Landisman, M. (1969). A technique for the analysis of transient seismic signals. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 1, 427–444.
- Gilligan, A., Roecker, S.W., Priestley, K.F., Nunn, C. (2014). Shear velocity model for the Kyrgyz Tien Shan from joint inversion of receiver function and surface wave data. *Geophys. J. Int.*, 199, 480–498.
- Goforth, T., Herrin, E. (1979). Phase-matched filters: application to study of Love waves. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 69, 27–44.
- Gonzalez, O.L., Moreno, B., Romanelli, F., Panza, G.F. (2012). Lithospheric structure below seismic stations in Cuba from the joint inversion of Rayleigh surface waves dispersion and receiver functions. *Geophys. Journal Int.*, 1-13.
- Gökalp, H. (2012). Tomographic imaging of the seismic structure beneath the East Anatolian Plateau. *Eastern Turkey Pure Appl Geophys.*, 169, 1749-1776.
- Helfrich, G., Wookey, J., Bastow, I. (2013). *The Seismic Analysis Code, A Primer and User's Guide*. Cambridge. United Kingdom.
- Herrmann, R.B., Ammon, C.J. (2002). Computer program in seismology: surface waves, receiver functions and crustal structure. In: *S.L. University (Editor)*.
- Herrmann, R.B. (2013). Computer programs in seismology: an evolving tool for instruction and research. *Seismol. Res. Lett.*, 84, 1081–1088.
- Jamalreyhani, M., Büyükakpınar, P., Cesca, S., Dahm, T., Sudhaus, H., Rezapour, M., Isken, M.P., Asayesh, B.M., Heimann, S. (2020). Seismicity related to the eastern sector of Anatolian escape tectonic: the example of the 24 January 2020 Mw 6.77 Elazığ-Sivrice earthquake. *Solid Earth*, <https://doi.org/10.5194/se-2020-55>.
- Julia, J., Ammon, C.J., Herrmann, R.B., Correig, A.M. (2000). Joint inversion of receiver function and surface wave dispersion observations. *Geophys. J. Int.*, 143, 99–112.
- Kennett, B.L.N., Engdahl, E.R., Buland, R. (1995). Constraints on seismic velocities in the Earth from traveltimes. *Geophys. J. Int.*, 122, 108–124.
- Kind, R., Eken, T., Tilmann, F., Sodoudi, F., Taymaz, T., Bulut, F., et al. (2015). Thickness of the lithosphere beneath Turkey and surroundings from S-receiver functions. *Solid Earth*, 6, 971–984.
- Langston, C.A. (1977). Corvallis, Oregon, crustal and upper mantle receiver structure from teleseismic P and S waves. *Bullet. Seismol. Soc. Am.*, 67(3), 713–724.
- Ligorria, J.P., Ammon, C.J. (1999). Iterative deconvolution and receiver function estimation. *Bullet. Seismol. Soc. Am.*, 89(5), 1395–1400.
- Lü, Y.S., Ni, L., Chen, Q.F. (2017). Pn tomography with Moho depth correction from eastern Europe to western China. *J Geophys Res. Solid Earth*, 122, 1284–1301.
- Mahatsente, R., Önal, G., Çemen, I. (2018). Lithospheric structure and the isostatic state of Eastern Anatolia: Insight from gravity data modelling. *Lithosphere*, 10(2), 279–290.
- McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, Georgiev, I., et al. (2000). Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus. *Journal of Geophysical Research*, 105, 5695–5719.
- Melgar, D., Ganas, A., Taymaz, T., Valkaniotis, S., Crowell, B.W., Kapetanidis, V., Tsironi, V., Yolsal-Çevikbilen, S., Öcalan, T. (2020). Rupture kinematics of 2020 January 24 Mw 6.7 Doğanyol-Sivrice, Turkey earthquake on the East Anatolian Fault Zone imaged by space geodesy. *Geophys. J. Int.*, 223, 862–874.
- Motavalli-Anbaran, S.H., Zeyen, H., Jamasb, A. (2016). 3D crustal and lithospheric model of the Arabia–Eurasia collision zone. *J. Asian Earth Sci.*, 122, 158–167.
- Oruç, B., Gomez-Ortiz, D., Petit, C. (2017). Lithospheric flexural strength and effective elastic thicknesses of the Eastern Anatolia (Turkey) and surrounding region. *J Asian Earth Sci.*, 150, 1–13.
- Ozer, C., Ozyaziciglu, M., Gök, E., Polat O. (2019). Imaging the Crustal Structure Throughout the East Anatolian Fault Zone, Turkey, by Local Earthquake Tomography. *Pure Appl. Geophys.*, 176, 2235–2261.
- Özacar, A.A., Zandt, G., Gilbert, H., Beck, S.L. (2010). Seismic images of crustal variations beneath the East Anatolian Plateau (Turkey) from teleseismic receiver functions. *Geology Society London Special Publications*, 340, 485–496.

- Öztürk, S., Bayrak Y. 2012. Spatial variations of precursory seismic quiescence observed in recent years in the Eastern part of Turkey. *Acta Geophysica*, 60(1), 92-118.
- Öztürk, S. (2017). Space-time assessing of the earthquake potential in recent years in the Eastern Anatolia region of Turkey. *Earth Sciences Research Journal*, 21 (2), 67-75.
- Öztürk, S. (2018). Earthquake hazard potential in the Eastern Anatolian Region of Turkey: seismotectonic b and Dc-values and precursory quiescence Z-value. *Front. Earth Sci.*, 12(1), 215–236.
- Pasyanos, M.E., Masters, T.G., Laske, G., Ma, Z. (2014). LITHO1.0: An updated crust and lithospheric model of the Earth. *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 119, 2155-2173.
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., et al. (2006). GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *Journal of Geophysical Research, Solid Earth*, 111(B5), B05411.
- Salah, M.K., Şahin, Ş. (2019). 3D crustal velocity and Vp/Vs structures beneath Southeast Anatolia and their geodynamic implications. *Геофизический журнал*, 2, 41.
- Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y. (1981). Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, 181–241.
- Şengör, A.M.C., Görür, N., Şaroğlu, F. (1985). Strikeslip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape Turkey as a case study. In: Biddle, K.T., Christie-Blick, K. (Eds.), *Strike-slip Deformation Basin Formation and Sedimentation. Soc. Econ. Paleontol. Miner. Spec. Publ.*, 37, 227–264.
- Tezel, T., Shibutani, T., Kaypak, B. (2013). Crustal thickness of Turkey determined by receiver function. *Journal of Earth*
- Türkoğlu, E., Unsworth, M., Bulut, F., Çağlar, I. (2015). Crustal structure of the North Anatolian and East Anatolian Fault
- Wessel, P., Smith, W.H.F., Scharroo, R., Luis, J.F., Wobbe, F. (2013). Generic Mapping Tools: improved version released. *EOS Trans AGU*, 94:409–410.
- Yön, B., Onat, O., Öncü, M.E., Karaşin, A. (2020). Failures of masonry dwelling triggered by East Anatolian Fault earthquakes in Turkey. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 133, 106-126.
- Zor, E., Sandvol, E., Gurbuz, C., Turkelli, N., Seber, D., Barazangi, M. (2003). The crustal structure of the East Anatolian plateau (Turkey) from receiver functions. *Geophysical Research Letters*, 30(24), 8044.
- Systems from magnetotelluric data. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 241, 1–14.
- Vanacore, E. A., Taymaz, T., Saygin, E. (2013). Moho structure of the Anatolian plate from receiver function analysis. *Geophysical Journal International*, 193(1), 329–337.
- Vinnik, L. (1977). Detection of waves converted from P to SV in the mantle. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 15, 39–45.
- Warren, L.M., Beck, S.L., Biryol, C.B., Zandt, G., Ozacar, A.A., Yang, Y. (2013). Crustal velocity structure of Central and Eastern Turkey from ambient noise tomography. *Geophysical Journal International*. 194(3), 1941–1954.



Evaluation of some toxic metal levels in treatment waters

Hacer Sibel Karapınar^{1*}

¹ Scientific and Technological Research & Application Center, Karamanoğlu Mehmetbey University, 70200, Karaman, Turkey (ORCID: 0000-0002-0123-3901)

(First received 20 July 2020 and in final form 16 January 2021)

(DOI:10.31590/ejosat.771787)

ATIF/REFERENCE: Karapınar, H. S. (2021). Evaluation of some toxic metal levels in treatment waters. *European Journal of Science and Technology*, (21), 301-306.

Abstract

The quality of the water used and the aquatic environment are important factors that control the health and life of all organisms. Industrial development, excessive use of natural resources cause environmental pollution to increase rapidly and organic and inorganic substances, which are considered as the most important threatening factors of aquatic organisms, are spreading to the environment. Metals constitute the most important source of inorganic pollution in waters. In this study, the levels of some toxic metals in Karaman province and its surrounding settlements treatment waters were determined. For this purpose, the amounts of arsenic, cobalt, copper, zinc, cadmium, chrome and lead metals were analyzed by Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) method. According to World Health Organization and Turkish Standard Institute-266 (TS-266), it was found that there was no pollution in terms of arsenic, cadmium, zinc, chrome, cobalt and lead in the water samples analyzed, but it was above the permissible limit values according to Turkish Standard Institute-266 for copper element.

Keywords: Treatment water, Toxic metal, ICP-OES.

Arıtma sularında bazı toksik metal seviyelerinin değerlendirilmesi

Öz

Kullanılan suyun kalitesi ve sucul çevre, tüm organizmaların sağlığını ve yaşamını kontrol eden önemli faktörlerdir. Endüstrinin gelişmesiyle doğal kaynakların aşırı kullanımı, çevre kirliliğinin hızla artmasına sebep olmakta ve suda yaşayan organizmaların en önemli tehdit edici faktörleri olarak kabul edilen organik ve inorganik maddeler çevreye yayılmaktadır. Metaller sulardaki en önemli inorganik kirlilik kaynağıdır. Bu çalışmada Karaman ili ve çevresindeki bazı yerleşim yerlerindeki arıtma sularında bazı toksik metallerin seviyeleri belirlenmiştir. Bu amaçla arsenik, kobalt, bakır, çinko, kadmiyum, krom ve kurşun metallerinin miktarları İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometresi (ICP-OES) yöntemiyle analiz edilmiştir. Dünya Sağlık Örgütü ve Türk Standardı Enstitüsü-266'ya (TS-266) göre, analiz edilen su örneklerinde arsenik, kadmiyum, çinko, krom, kobalt ve kurşun açısından kirlenme olmadığı ancak bakır elementi için Türk Standardı Enstitüsü-266'ya göre izin verilen sınır değerlerin üstünde olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Arıtma suyu, Toksik metal, ICP-OES.

*Corresponding Author: Scientific and Technological Research & Application Center, Karamanoğlu Mehmetbey University, 70200, Karaman, Turkey.
ORCID: 0000-0002-0123-3901, sibelkarapinar@kmu.edu.tr

1. Introduction

Water is one of the basic elements in the life of all living organisms. It plays a key role in many ecosystems [1]. In recent years, tons of various pollutants (solid, liquid and gas) have been added to the environmental ecosystems due to the increase in urban and industrial activities and socio-economy. Trace element concentrations in the environment and waters increase due to anthropogenic activities such as mining, industrial production and medical waste incineration [2].

Chemical pollution of water resources in many parts of the world is an increasing problem [3]. More than 700 chemical contaminants that can be present in water have been identified [4]. Among these pollutants, trace metals are the most dangerous because of their high toxicity and carcinogenicity [5-6]. Although some trace elements are necessary for human health, their accumulation in natural waters can pose a threat to human health and ecological safety [7-8]. Among toxic metals, arsenic (As) is a predominant pollutant [9-10]. 1.85 million people in general drink water above $50 \mu\text{g l}^{-1}$ [11]. Lead (Pb), cadmium (Cd), mercury (Hg) and arsenic (As) do not have a known nutritional value for humans and are potentially toxic. These toxic elements are known to cause organ damage and their carcinogenicity is a concern for human health [12].

Among the commonly used spectrometric techniques, the inductively coupled plasma optical emission spectrometer (ICP-OES) is widely used in mineral analysis due to its high sensitivity, wide dynamic range and analysis speed and multi-element capabilities [13]. In this study, the levels of toxic metals in Karaman urban treatment waters were determined. For this purpose, the amounts of arsenic, cadmium, cobalt (Co), copper (Cu), zinc (Zn), chrome (Cr) and lead metals were analyzed by ICP-OES method. It was determined that there was no As pollution in the water samples analyzed, and the concentration values of Co, Cu and Zn elements were higher than World Health Organization (WHO) and Turkish Food Codex (TFC; TS-266) values in some seasons.

2. Material and Method

2.1. Materials

The place, time and shape of the water to be analyzed is important. Changes in these factors will directly affect the concentration of the analyzed water and cause errors. Samples



Figure 1. Map of sampling locations

were collected from treatment water centers which are frequently used as drinking water by the public in Karaman city center and its surrounding settlements (Figure 1). 12 important centers were selected for this purpose.

2.2. Methods

Water samples were collected from mid-season to 4 seasons between 2011 and 2012. Samples were placed in polyethylene containers. The sample cups were first washed thoroughly with distilled water and then rinsed 3 times with the sample water. A $0.45 \mu\text{m}$ fiber filter was used to filter all drinking water samples. Three filtered sub-samples were collected in 50 ml polyethylene bottles prepared separately by pre-washing to analyze toxic metals. These sub-samples were then protected with 10% ultra-pure HNO_3 . The sampled water samples were then capped and stored in a refrigerator at 4°C until further analysis. Inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES) (720, Agilent) was used for elemental analysis of the samples. ICP-OES is a multi-element atomic emission spectroscopic technique that allows the simultaneous and fast detection of both minor and major elements in complicated samples [14]. It is a widely used method for determination of elements in environmental and food analysis due to its wide working ranges and very good detection ability [15].

2.2.1. Evaluation of instrumental performance and calibration

The method and instrumental performance were evaluated by determining the detection limit (LOD) and the quantification limit (LOQ). LOD and LOQ were described as the analyte concentration corresponding to 3 to 10 times the slope ratio of the standard deviation, respectively, and determined by the standard deviation of the six samples prepared by the slope of the calibration curves and nailing blank samples. Definite-concentration certificated standards have been used. 1000 mg kg^{-1} (Merck) standards have been used as main stock. From main stock solution as study standards; it has been prepared in HNO_3 (Merck) setting of 2 M 65% and as to be 100 ml. The performance and calibration procedure of various elements are presented in Table 1, 2.

The Agilent 720 (ICP-OES) properties a custom intended CCD detector, which ensures full simultaneous measure and wide wavelength coverage from 167 to 785 nm. The CCD detector includes constant angular arrays that are paired completely to the two-dimensional view from the echelle optics. The instrument operating conditions were given Table 3.

Table 1. LOD, LOQ and wavelength of determination of the different elements by ICP-OES ($\mu\text{g kg}^{-1}$)

Element	LOD	LOQ	Wavelength
As	0.00712	0.02136	228.812
Co	0.00560	0.01698	235.341
Cu	0.00845	0.02535	324.754
Zn	0.00967	0.02932	213.857
Cd	0.00896	0.02714	226.502
Cr	0.00847	0.02567	267.716
Pb	0.00939	0.02847	220.353

Table 2. Calibration procedure ($\mu\text{g kg}^{-1}$)

Element	Standart				
	1	2	3	4	5
As	0.4	0.8	1.6	2.4	3.2
Co	0.2	0.4	0.8	1.2	1.6
Cu	0.04	0.08	0.16	0.24	0.32
Zn	0.04	0.08	0.16	0.24	0.32
Cd	0.04	0.08	0.16	0.24	0.32
Cr	0.04	0.08	0.16	0.24	0.32
Pb	0.4	0.8	1.6	2.4	3.2

Table 3. Instrument operating conditions

Features	Value
Power	1.0 kW
Plasma gas flow	15 L min ⁻¹
Auxiliary gas flow	1.5 L min ⁻¹
Nebulizer flow	0.75 L min ⁻¹
Pump speed	15 rpm
Stabilization time	15 sec
Rinse time	15 sec
Spray chamber type	Glass cyclonic
Torch	Standard one piece quartz axial
Nebulizer type	SeaSpray
Fast pump	On
Background correction	Left and right off peak

3. Results and Discussion

The concentrations of toxic elements in water samples are given in Table 4, 5, 6, 7, 8, 9 and 10.

Table 4. As concentrations in water samples ($\mu\text{g kg}^{-1}$)

Sample	Autumn	Winter	Spring	Summer	Average±SD
1	2.135	2.277	3.407	2.081	2.475±0.627
2	2.249	2.498	3.823	1.280	2.463±1.048
3	2.328	2.307	2.390	1.689	2.179±0.328
4	2.101	3.085	2.813	1.771	2.443±0.610
5	1.364	2.263	2.794	2.919	2.335±0.707
6	2.073	2.704	2.443	2.108	2.332±0.299
7	3.112	2.178	2.431	2.163	2.471±0.445
8	2.531	2.664	2.086	2.080	2.340±0.302
9	3.126	3.038	3.683	2.572	3.105±0.456
10	3.621	5.408	3.763	3.752	4.136±0.850
11	3.772	2.656	2.398	2.147	2.743±0.717
12	3.333	0.303	2.658	3.371	2.416±1.446

Table 5. Pb concentrations in water samples ($\mu\text{g kg}^{-1}$)

Sample	Autumn	Winter	Spring	Summer	Average±SD
1	*	*	0.314	*	0.31
2	*	*	*	0.011	0.011
3	*	0.192	*	*	0.192
4	*	*	27.89	*	27.89
5	0.261	*	6.889	*	3.575±4.687
6	0.559	*	*	*	0.559
7	*	0.073	*	*	0.073
8	4.245	*	*	0.409	2.327±2.712
9	5.495	*	*	*	5.495
10	0.081	0.563	*	2.178	0.941±1.098
11	3.009	*	0.187	4.049	2.415±1.998
12	*	*	*	*	*

Table 6. Cr concentrations in water samples ($\mu\text{g kg}^{-1}$)

Sample	Autumn	Winter	Spring	Summer	Average \pm SD
1	1.017	0.869	1.649	1.057	1.148 \pm 0.344
2	0.883	1.001	1.414	0.161	0.865 \pm 0.521
3	0.666	0.770	0.630	0.800	0.717 \pm 0.081
4	0.977	1.103	0.990	1.152	1.056 \pm 0.086
5	0.832	0.840	1.343	1.113	1.032 \pm 0.245
6	0.819	0.977	1.044	1.047	0.972 \pm 0.107
7	1.047	1.042	0.961	1.196	1.062 \pm 0.098
8	0.946	0.799	0.855	1.232	0.958 \pm 0.192
9	1.018	0.934	1.052	0.941	0.986 \pm 0.058
10	1.101	1.460	1.115	1.562	1.310 \pm 0.236
11	1.228	0.941	0.897	1.205	1.068 \pm 0.173
12	0.951	*	1.012	1.463	1.142 \pm 0.282

Table 7. Cd concentrations in water samples ($\mu\text{g kg}^{-1}$)

Sample	Autumn	Winter	Spring	Summer	Average \pm SD
1	0.006	0.047	*	0.003	0.019 \pm 0.025
2	*	0.012	*	0.021	0.017 \pm 0.006
3	*	0.102	*	0.007	0.055 \pm 0.067
4	*	*	1.349	*	1.349
5	0.078	0.008	0.147	*	0.078 \pm 0.070
6	0.067	*	*	*	0.067
7	*	*	*	0.006	0.006
8	0.192	0.006	0.012	*	0.070 \pm 0.106
9	0.372	*	*	*	0.372
10	*	0.045	*	*	0.045
11	0.246	*	0.006	0.015	0.089 \pm 0.136
12	0.008	*	0.006	0.015	0.010 \pm 0.005

Table 8. Zn concentrations in water samples ($\mu\text{g kg}^{-1}$)

Sample	Autumn	Winter	Spring	Summer	Average \pm SD
1	2.631	1.053	6.884	1.549	3.029 \pm 2.653
2	2.233	2.745	6.701	5.579	4.315 \pm 2.167
3	2.176	8.690	18.50	6.682	9.011 \pm 6.885
4	2.736	1.199	4.936	5.312	3.546 \pm 1.934
5	4.546	0.665	6.582	4.179	3.993 \pm 2.458
6	3.145	1.437	1.512	1.554	1.912 \pm 0.823
7	22.39	22.25	27.78	25.70	24.53 \pm 2.692
8	14.73	9.362	33.88	114.9	43.22
9	8.755	4.449	7.759	3.853	6.204 \pm 2.417
10	5.361	8.916	5.249	9.353	7.220 \pm 2.219
11	20.16	1.182	1.128	119.7	35.53
12	3.898	0.189	8.982	32.76	11.46 \pm 14.65

Table 9. Co concentrations in water samples ($\mu\text{g kg}^{-1}$)

Sample	Autumn	Winter	Spring	Summer	Average \pm SD
1	0.720	0.650	0.627	0.689	0.672 \pm 0.041
2	0.709	0.615	0.578	0.524	0.607 \pm 0.078
3	1.035	0.770	0.733	0.733	0.818 \pm 0.146
4	0.577	0.595	2.386	0.628	1.047 \pm 0.893
5	0.877	0.650	0.575	0.700	0.701 \pm 0.128
6	0.979	0.699	0.601	0.723	0.751 \pm 0.161
7	0.728	0.688	0.689	0.647	0.688 \pm 0.033
8	1.008	0.693	0.699	0.697	0.774 \pm 0.156
9	1.203	0.702	0.645	0.685	0.809 \pm 0.264
10	0.706	0.738	0.661	0.616	0.680 \pm 0.053
11	1.091	0.711	0.675	0.745	0.806 \pm 0.192
12	0.646	0.607	0.727	0.559	0.635 \pm 0.071

Table 10. Cu concentrations in water samples ($\mu\text{g kg}^{-1}$)

Sample	Autumn	Winter	Spring	Summer	Average \pm SD
1	2.000	0.932	4.863	1.473	2.317 \pm 1.752
2	2.159	1.278	8.656	3.629	3.931 \pm 3.296
3	2.323	6.251	0.976	0.916	2.617 \pm 2.509
4	3.540	0.756	2.040	5.704	3.010 \pm 2.126
5	2.178	0.747	4.627	2.363	2.479 \pm 1.604
6	2.100	1.937	2.243	2.969	2.312 \pm 0.455
7	2.076	2.547	1.402	4.875	2.725 \pm 1.508
8	2.127	3.291	2.066	10.34	4.452 \pm 3.956
9	3.174	2.937	3.235	2.958	3.076 \pm 0.151
10	4.145	4.569	1.988	10.62	5.329 \pm 3.701
11	2.216	2.033	1.754	1.295	1.825 \pm 0.401
12	2.015	*	3.618	5.687	3.773 \pm 1.841

As a result of the measurements made for arsenic, it was observed that annual and seasonal results showed parallelism and the average concentration was consistent with seasonal measurements. As a result of the measurements made for Pb, although the water samples showed seasonal differences, generally reasonable levels of Pb concentrations were obtained. Cd was not detected in 60% of the water samples. Cd samples were also found to be low levels. According to Cr element measurement results, annual and seasonal results were found to be in parallel with each other. The metal concentrations of water samples collected in four seasons are shown in Figure 2, 3, 4 and 5.

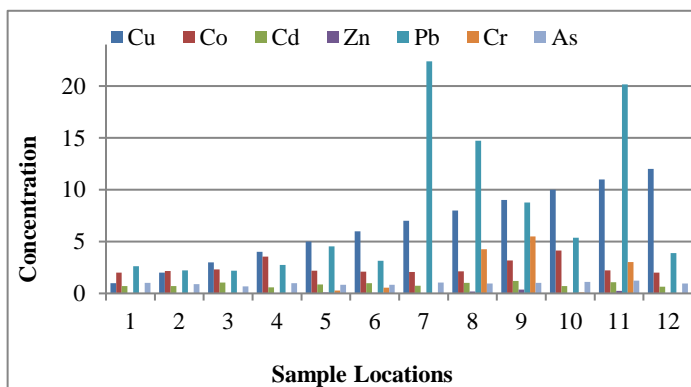


Figure 2. Metal concentrations of water samples collected in autumn season ($\mu\text{g kg}^{-1}$)

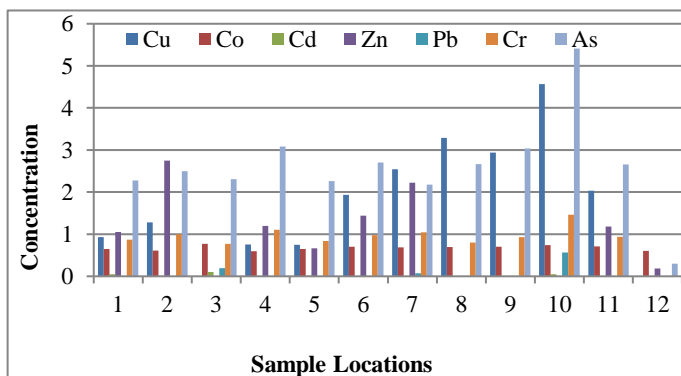


Figure 3. Metal concentrations of water samples collected in winter season ($\mu\text{g kg}^{-1}$)

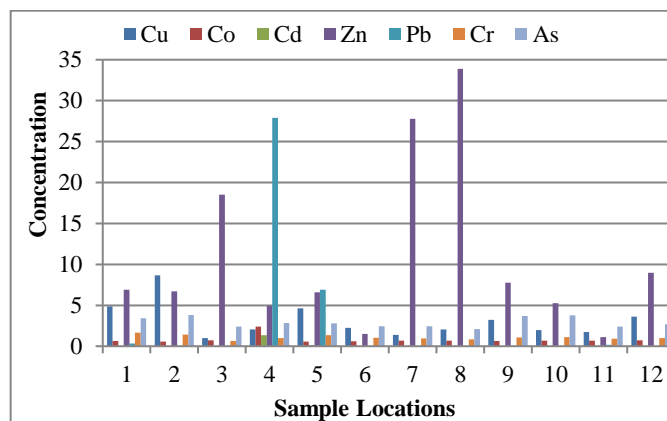


Figure 4. Metal concentrations of water samples collected in spring season ($\mu\text{g kg}^{-1}$)

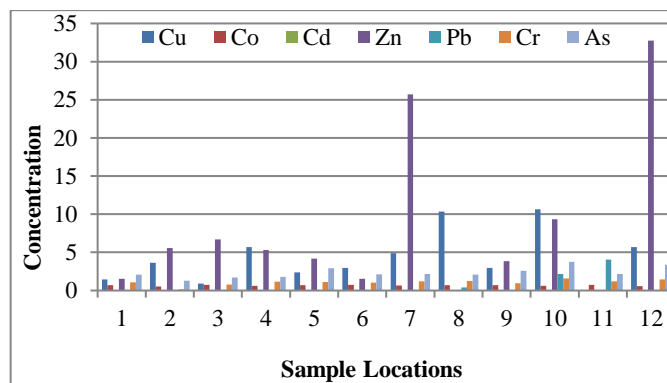


Figure 5. Metal concentrations of water samples collected in spring season ($\mu\text{g kg}^{-1}$)

Lead is a toxic metal with multiple effects and can remain in the organism for a long time. Chronic lead poisoning can cause cognitive disorders such as depression, difficulty concentrating, peripheral neuropathies, and chronic interstitial nephropathy. Children are more sensitive to the effects of lead. Children are exposed to a small amount of lead for a long period of time due to physical and psychological development disorder, psychomotor disorders, learning difficulties and IQ [16]. It has a long half-life that varies depending on the tissue in which the lead is located. It is excreted for 28-36 days in blood, 40 days in soft tissue and more than 25 years in mineralized tissues [17]. Therefore, the increase in the total amount of lead accumulated in the body should be prevented. The upper limit value of lead that can be found in drinking water is $10 \mu\text{g l}^{-1}$ according to WHO and $50 \mu\text{g l}^{-1}$ according to TS-266. Only one of the

samples exceeded the limit value according to WHO. According to WHO and TS 266 standards, the amount of Pb in other samples is below the allowed limit values.

4. Conclusions and Recommendations

In recent years, the metal pollution in the water environment has attracted attention globally because of its persistence and environmental toxicity. Metals enter the aquatic environment with natural and anthropogenic sources. Heavy metals can enter the environment in different ways, do not biodegrade and show durability [18]. This study showed that there is Cu contamination in urban treatment waters, but this water can be used for very toxic elements such as As, Pb, Cr and Cd. Limit values determined for some elements according to Turkish Food Codex [19]; 10 $\mu\text{g kg}^{-1}$ for As, 5 $\mu\text{g kg}^{-1}$ for Cd, 50 $\mu\text{g kg}^{-1}$ for Cr, 3 mg kg^{-1} for Cu, 10 $\mu\text{g kg}^{-1}$ for Pb, 5 mg kg^{-1} for Zn. As a result of the analysis, it was determined that the results of As, Cd, Cr and Pb elements for TFC were below the allowed limit values and for Cu 68.75% of the samples were above the limit value. According to the World Health Organization [1], limit values of 10 $\mu\text{g kg}^{-1}$ for As, 50 $\mu\text{g kg}^{-1}$ for Cr and 10 $\mu\text{g kg}^{-1}$ for Pb are given. It was determined that the water samples analyzed according to the limit values allowed by the World Health Organization are usable for As, Cr and Pb. The toxic metals determined in the waters will accumulate in the human body after a while [20]. In order to prevent the dispersion of copper pollution or to avoid exposure to pollution, risks must be calculated and an improvement plan is required.

5. References

- [1] Edition, F. (2011). Guidelines for drinking-water quality. *WHO chronicle*, 38(4), 104-8.
- [2] Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., & Sutton, D. J. (2012). Heavy metal toxicity and the environment. In *Molecular, clinical and environmental toxicology* (pp. 133-164). Springer, Basel.
- [3] Meers, E., Ruttens, A., Hopgood, M., Lesage, E., & Tack, F. M. G. (2005). Potential of Brassica rapa, Cannabis sativa, Helianthus annuus and Zea mays for phytoextraction of heavy metals from calcareous dredged sediment derived soils. *Chemosphere*, 61(4), 561-572.
- [4] Ali, I. (2010). The quest for active carbon adsorbent substitutes: inexpensive adsorbents for toxic metal ions removal from wastewater. *Separation & Purification Reviews*, 39(3-4), 95-171.
- [5] Khan, S., Shahnaz, M., Jehan, N., Rehman, S., Shah, M. T., & Din, I. (2013). Drinking water quality and human health risk in Charsadda district, Pakistan. *Journal of cleaner production*, 60, 93-101.
- [6] Vilela, D., Parmar, J., Zeng, Y., Zhao, Y., & Sánchez, S. (2016). Graphene-based microbots for toxic heavy metal removal and recovery from water. *Nano letters*, 16(4), 2860-2866.
- [7] Zeng, X., Liu, Y., You, S., Zeng, G., Tan, X., Hu, X., ... & Li, F. (2015). Spatial distribution, health risk assessment and statistical source identification of the trace elements in surface water from the Xiangjiang River, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(12), 9400-9412.
- [8] Dong, Z., Qin, D., Qin, X., Cui, J., & Kang, S. (2017). Changes in precipitating snow chemistry with seasonality in the remote Laohugou glacier basin, western Qilian Mountains. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(12), 11404-11414.
- [9] Gao, Q., Li, Y., Cheng, Q., Yu, M., Hu, B., Wang, Z., & Yu, Z. (2016). Analysis and assessment of the nutrients, biochemical indexes and heavy metals in the Three Gorges Reservoir, China, from 2008 to 2013. *Water research*, 92, 262-274.
- [10] Duquène, L., Vandenhove, H., Tack, F., Meers, E., Baeten, J., & Wannijn, J. (2009). Enhanced phytoextraction of uranium and selected heavy metals by Indian mustard and ryegrass using biodegradable soil amendments. *Science of the Total Environment*, 407(5), 1496-1505.
- [11] Gao, B., Gao, L., Gao, J., Xu, D., Wang, Q., & Sun, K. (2019). Simultaneous evaluations of occurrence and probabilistic human health risk associated with trace elements in typical drinking water sources from major river basins in China. *Science of the Total Environment*, 666, 139-146.
- [12] Goyer, R. (2004). *Issue paper on the human health effects of metals*. US Environmental Protection Agency.
- [13] Donati, G. L., Amais, R. S., & Williams, C. B. (2017). Recent advances in inductively coupled plasma optical emission spectrometry. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 32(7), 1283-1296.
- [14] Naozuka, J., Vieira, E. C., Nascimento, A. N., & Oliveira, P. V. (2011). Elemental analysis of nuts and seeds by axially viewed ICP OES. *Food Chemistry*, 124(4), 1667-1672.
- [15] Özcan, M. M. (2006). Determination of the mineral compositions of some selected oil-bearing seeds and kernels using Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry (ICP-AES). *Grasas y aceites*, 57(2), 211-218.
- [16] Grandjean, P., & Landrigan, P. J. (2006). Developmental neurotoxicity of industrial chemicals. *The Lancet*, 368(9553), 2167-2178.
- [17] Patrick, L. (2006). Lead toxicity, a review of the literature. Part I: Exposure, evaluation, and treatment. *Alternative medicine review*, 11(1).
- [18] İşeri, İ. & Arıman, S. (2019). Sedimandaki Ağır Metal Konsantrasyonunun Çoklu Değişken Regresyon Modelleri ve Çok Katmanlı Algılayıcı Ağ Modeli ile Tahmini. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 389-397.
- [19] Başığit, B., & Tekin-Özan, S. (2013). Concentrations of some heavy metals in water, sediment, and tissues of pikeperch (Sander lucioperca) from Karataş Lake related to physico-chemical parameters, fish size, and seasons. *Polish Journal of Environmental Studies*, 22(3), 633-644.
- [20] Herman, G. V., Ilies, D. C., Gaceu, O., Ilies, A., Mester, C., Ilies, M., ... & Dumitru, M. (2019). Some considerations concerning the quality of groundwater in the Natura 2000 Lunca Barcaului (Barcaului Meadow) site, Romania. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 20(3), 1102-1109.



Onkoloji Hastalarında Tamamlayıcı ve Alternatif Tıp Kullanım Sıklığının ve Diyet Yaklaşımlarının Belirlenmesi

Hakan Güveli¹, Ataberk Uzsoy², Tuğçe Özlü^{3*}, Emre Batuhan Kenger⁴, Can Ergün⁵

¹ Bahçeşehir Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0278-9087), drhakanguveli@gmail.com

² Bahçeşehir Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1839-6368), ataberk.uzsoy@gmail.com

^{3*} Bahçeşehir Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0139-676X), dvt.tugceozlu@gmail.com

⁴ Bahçeşehir Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4761-6836)
emrebatuhan.kenger@hes.bau.edu.tr

⁵ Bahçeşehir Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5139-4407)
can.ergun@hes.bau.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 21 Ekim 2020 ve Kabul Tarihi 20 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.814348)

ATIF/REFERENCE: Güveli, H., Uzsoy, A., Özlü, T., Kenger, E.B., & Ergün, C. (2021). Onkoloji Hastalarında Tamamlayıcı ve Alternatif Tıp Kullanım Sıklığının ve Diyet Yaklaşımlarının Belirlenmesi *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 307-312.

Öz

Kanser hastalarında geleneksel tedavi yöntemleriyle sağ kalım oranının artmasına rağmen, çok sayıda kanser hastası bu tedavilerin dışında başka arayışlara yönelmektedir. Hastaları geleneksel tedavi yöntemleri dışında arayışlara iten en önemli faktörlerin başında çaresizlik, umutsuzluk, farklı beklentiler, sosyal baskılar gelmektedir. Bu nedenle, kanser hastalarında tamamlayıcı ve alternatif tıp (TAT) kullanım oranları giderek artmıştır. Bu çalışma kanser hastalarının güncel tedavileri sonrasında gerçekleşen şikayetlerinden dolayı TAT kullanım sıklıklarını, bilgi düzeylerini ve diyet yaklaşımlarını tespit etmek amacıyla yapılmıştır. Araştırma özel bir hastanenin onkoloji servisinde, etik kurul izni alındıktan sonra başlamıştır. Çalışmaya hekim tarafından kanser tanısı almış, kemoterapi tedavisi alan 111 yetişkin birey dahil edilmiştir. Verilerin toplanmasında sosyo-demografik anket formu ve besin tüketim sıklığı formları kullanılmıştır. Katılımcılarda en sık görülen kanser türleri sırasıyla meme (%29,7) ve gastrointestinal kanserler (%25,2) olarak belirlenmiştir. Katılımcıların TAT kullanım durumlarına bakıldığında hastaların %52,3'ü TAT ile alakalı yeteri kadar bilgiye sahip olduğu belirlenmiştir. Hastaların %46,8'i ise TAT yöntemlerine inanmaktadır. Çalışmamızda katılımcıların kullandıkları TAT yöntemlerine bakıldığında en sık kullanılan yöntemlerin sırasıyla bitkiler (%41,4), bitkisel ilaçlar (%29,7) ile dinsel ve spiritüel yöntemler (dua: %32,5, şifalı su: %27,9, türbe ziyareti: %21,6) olduğu saptanmıştır. Katılımcıların kullandıkları bitkisel yöntem, besinler ve diyet yaklaşımları sorgulandığında hastaların en sık kullandıkları besinler ve bitkisel yöntemlerin sırasıyla sarımsak (%89,2), zerdeçal (%64,9), brokoli (%59,5), çörekotu (%45,0) ve yeşil çay (%43,2) olduğu belirlenmiştir. Uyguladıkları diyet yaklaşımlarına bakıldığında katılımcıların çoğunluğunun yüksek proteinli diyet (%53,2) ve Akdeniz diyeti (%36) uyguladığı saptanmıştır. Sonuç olarak kanserli hastalarda TAT kullanım sıklığı ve diyet yaklaşımlarının saptanması ile ilişkili çalışmalar oldukça sınırlıdır. Farklı örneklem gruplarını içine alan geniş kapsamlı çalışmalarla konunun aydınlatılması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kanser, Tamamlayıcı ve Alternatif Tıp, Beslenme, Diyet Yaklaşımları

Determination of Frequency of Complementary and Alternative Medicine Use and Dietary Approaches in Oncology Patients

Abstract

Although the survival rate has increased with conventional cancer treatment methods, many cancer patients are looking for other searches except these treatments. Despair, hopelessness, different expectations and social pressures are among the most important

* Sorumlu Yazar: Bahçeşehir Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0002-0139-676X, dvt.tugceozlu@gmail.com

factors that push patients to seeking other except traditional treatment methods. Therefore, the use of complementary and alternative medicine (CAM) in cancer patients has gradually increased. This study was carried out to determine CAM use frequency, knowledge and nutritional status of cancer patients due to their complaints after their current treatments. The study was carried out in the oncology service of a private hospital after obtaining the ethics committee approval. 111 adults who were diagnosed with cancer by a physician and received chemotherapy treatment were included in the study. In data collection socio-demographic questionnaire form and food consumption frequency forms were used. The most common types of cancer in the participants were determined as breast (29.7%) and gastrointestinal cancers (25.2%), respectively. Considering the use of CAM of the participants, it was determined that 52.3% of the patients had sufficient knowledge about CAM. 46.8% of the patients believe in methods of CAM. When we look at the CAM methods used by the participants in our study, the most frequently used methods were plants (41.4%), herbal drugs (29.7%), and religious and spiritual methods (prayer: 32.5%, healing water: 27.9%, tomb visit: 21.6%). When the herbal methods, foods and dietary approaches used by the participants were questioned, the most frequently used foods and herbal methods were garlic (89.2%), turmeric (64.9%), broccoli (59.5%), black cumin (45.0%) and green tea (43.2%), respectively. Considering the dietary approaches they applied, it was found that the majority of the participants followed a high protein diet (53.2%) and a Mediterranean diet (36%). In conclusion, studies on the frequency of CAM use and determination of dietary approaches in cancer patients are quite limited. The subject should be enlightened with comprehensive studies involving different sample groups.

Keywords: Cancer, Complementary and Alternative Medicine, Nutrition, Dietary Approaches

1. Giriş

Kanser, hücrede görülen mutasyona bağlı olarak, hücrenin denetimsiz çoğalması ve büyümesi sonucu meydana getirdiği malign hastalıklar grubunun genel adıdır (Roy ve Saikia, 2016). Kanser, dünya çapında önde gelen ölüm nedenleri arasında olup 2012 yılında dünyada kanser sebebiyle 8,2 milyon ölüm meydana gelmiştir. Önümüzdeki 20 yılda ise yeni kanser vakalarının artacağı tahmin edilmektedir (Yang ve ark., 2018). Kanserinin ortaya çıkmasında artan nüfus, toksik kimyasallar, yaşlanma, sigara-alkol tüketimi, aşırı vücut ağırlığı kazanımı, besinlerin hazırlama, pişirme ve saklama teknikleri, fiziksel hareketsizlik ve kentleşme gibi artan risk faktörleri etkilidir. Ayrıca her etnik grubun genomik özelliklerinden dolayı farklı kanser türlerine daha yatkın oldukları bilinmektedir (Torre ve ark., 2016; Mahan ve Raymond, 2017).

Kemoterapi, radyasyon tedavisi, immünoterapi, cerrahi yöntemler kanser tedavisinde en çok kullanılan tedavi yöntemleridir. Uygulanacak tedavi yöntemlerinin kişiden kişiye, hastalığa, evreye göre farklılık göstermesinden dolayı tek ve kesin bir tedavi yönteminin varlığından bahsetmek doğru olmamaktadır. Kanserde geleneksel tedavi yöntemleriyle sağ kalım oranının artmasına rağmen, çok sayıda kanser hastası bu tedavilerin dışında başka arayışlara yönelmektedir. Bu nedenle, kanser hastalarında tamamlayıcı ve alternatif tıp (TAT) tedavilerinin kullanım oranları giderek artmıştır (Öztürk ve ark., 2016). Türkiye'nin de içinde olduğu 14 Avrupa ülkesinde yapılan çalışmada tamamlayıcı ve alternatif tıbbın kanserli hastalarda kullanım oranının %36 olduğu bildirilmiştir. Tamamlayıcı tıp modern tıba destek amaçlı yapılan, hastaların yaşam kalitesini geliştirmek, hastalığın semptomlarını ve ilaçların yan etkilerini azaltmak, fiziksel ve psikolojik destek sağlamak amacıyla uygulanan tedavi yöntemleridir. Alternatif tıp ise, bilimsel tıbbi uygulamalar yerine yapılan ve etkisi henüz bilimsel olarak tam kanıtlanmamış tedavilerdir (Kav ve ark., 2008). TAT yöntemleri

geleneksel kanser tedavisinin yanı sıra kişinin fiziksel, duygusal ve ruhsal sağlığını desteklemektedir (Viscuse ve ark., 2017). Bu bilgiler ışığında bu çalışmada kanser tanısı almış hastaların TAT kullanım sıklıklarını, TAT hakkında bilgi düzeylerini ve diyet yaklaşımlarını belirlemek amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Kesitsel tipte yapılan bu araştırmanın örneklemini İstanbul'da özel bir hastanede tedavi gören, doktor tarafından kanser tanısı almış ve çalışmaya katılmayı kabul eden 51 erkek ve 60 kadın hasta olmak üzere toplam 111 onkoloji hastası oluşturmuştur. Araştırmanın veri toplama sürecine Bahçeşehir Üniversitesi Klinik Araştırmalar Etik Kurul onayı (2019-09/03) alındıktan sonra başlanmıştır. Araştırma veri toplama formu, katılım sağlamayı kabul eden onkoloji hastalarının demografik özellikleri, tamamlayıcı ve alternatif tıp kullanım durumları ve diyet yaklaşımlarını tespit etmek amacıyla hazırlanmıştır. TAT hakkında yeterli bilgiye sahip olma durumu ve katılımcılar tarafından uygulanan diyet yaklaşımlarının belirlenmesinde katılımcı beyanı esas alınmıştır.

Anket aracılığıyla elde edilen veriler bilgisayar ortamında, SPSS (Statistical Package for Social Sciences) 24,0 paket programı kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışmada anlamlılık düzeyi $\alpha = 0,05$ olarak alınmıştır. Tanımlayıcı istatistiklerde ortalama, standart sapma ve frekans değerlerine yer verilmiştir. Anketin güvenilirlik sınavası için kullanılan testler; "Cronbach Alpha (CA), İkiye Bölme (split), Paralel ve Mutlak Kesin Paralel (strict)" şeklindedir. Kullanılan tüm kriterlerden bulunan sonuç %70'i geçtiğinde iç tutarlık ve güvenilirlik sağlanmış olmaktadır. Tablo 1'de görüleceği gibi her kriter için %70 değeri geçilmiş, güvenilirlik sağlanmıştır. Böylece analiz çıktılarının da güvenilir olduğu belirlenmiştir.

Tablo 1. Anketin Güvenilirlik Analizleri Sonuçları

Kriterler	Anketin Güvenirlilik Sonuçları
Cronbach_Alpha	0,819
Split	0,818-0,819
Parelel	0,818
Strict	0,819

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu çalışmada katılımcıların TAT ile ilgili bilgi düzeyleri ve kullanım durumları ile diyet yaklaşımlarını tespit etmek amaçlanmıştır. Katılımcıların demografik ve klinik özelliklerine Tablo 1'de yer verilmiştir. Dünya Sağlık Örgütü'nden elde edilen veriler, 2018 yılında tüm yaş grupları ve cinsiyetlerde yeni kanser vakalarının 210.537 ve kansere bağlı ölümlerin 116.710 olduğu belirlenmiş olup en yaygın görülen kanserler sırasıyla akciğer, meme ve kolorektum kanserleridir (WHO, 2018). Çalışmamızda katılımcılarda en sık görülen kanser türleri sırasıyla meme (%29,7) ve gastrointestinal kanserler (%25,2) olarak belirlenmiştir. Hastaların çoğunluğunun 1 yıldan daha az süre ile tedavi gördüğü ve kanser evrelerinin 1-2. evrede olduğu belirlenmiştir. Katılımcıların büyük çoğunluğu ise (%38,7) kanser evresini bilmemektedir. (Tablo 2).

Tablo 2. Katılımcıların demografik ve klinik özellikleri (N=111)

	Sayı (n)	Yüzde (%)
Cinsiyet		
Erkek	51	45,9
Kadın	60	54,1
Yaş		
18-25 yaş	4	3,6
26-40 yaş	8	7,2
41-50 yaş	30	27,0
51-60 yaş	39	35,1
61 yaş ve üzeri	30	27,1
Kanserin Türü		
Gastrointestinal kanser	28	25,2
Meme kanseri	33	29,8
Akciğer kanseri	11	9,9
Genitoüriner kanser	12	10,8
Diğer kanserler	27	24,3
Tedavi Süresi		
1 yıldan az	68	61,3
1-3 yıl	39	35,1
3 yıl ve üzeri	4	3,6
Kanser Evresi		
1. Evre	29	26,1
2. Evre	31	27,9
3. Evre	6	5,4
4. Evre	2	1,8
Bilmiyor	43	38,8

Katılımcıların TAT kullanım durumlarına bakıldığında hastaların %52,3'ünün TAT ile alakalı yeteri kadar bilgiye sahip olduğu belirlenmiştir. Hastaların %46,8'i ise TAT yöntemlerine inanmaktadır. Katılımcıların %28,8'i daha önce TAT yöntemlerini kullanmış ve %44,1'i kanser hastalığına ilişkin TAT yöntemlerini denemiştir. Katılımcıların yalnız %26,1'i TAT kullanımının yararını gördüğünü belirtmiştir. TAT kullanım sıklığının yüksek olmasına rağmen katılımcıların yalnız %14,4'ünün sağlık personeline danıştığı saptanmıştır (Tablo 3). Suudi Arabistan'daki yetişkinler (n=518) üzerinde yapılan bir çalışmada %88,8'inin (Elolemy ve AlBedah, 2012); İtalya'da kanser hastaları (n=468) üzerinde yapılan başka bir çalışmada ise hastaların %48,9'unun

TAT yöntemlerini kullandığı bildirilmiştir (Berretta ve ark., 2017). Luo ve ark. (2017) yaptığı çalışmada kanserli hastaların (n=603) TAT kullanım durumunun yaşam boyu %89 oranında olduğu ve bu yöntemlerin en fazla meme kanserli hastalarda uygulandığı belirlenmiştir (Luo ve ark., 2017). İskandinavya'da kanser hastalarının TAT kullanım durumlarını öğrenmek için yapılan çalışmada ortalama %36'sının bu yöntemleri kullandığı bildirilmiştir (Nilsson ve ark., 2016). İsveçli kanser hastaları üzerinde yapılan kesitsel çalışmanın sonuçları yaşam boyu hastaların %34'ü ve kanser teşhisi sonrası hastaların %26'sı tarafından TAT kullanıldığını göstermektedir (Wode ve ark., 2019). Güncel bir sistematik derleme ve meta-analiz sonuçları ise (n=21.249) kanser hastalarının ortalama %51'inin TAT kullandığını ortaya koymuştur. Ayrıca, TAT kullanımının daha genç hastalar, kadın hastalar, eğitim veya gelir durumu yüksek hastalarda daha fazla olduğu bulunmuştur (Keene ve ark., 2019). Literatür bulguları çalışmamıza benzer şekilde, farklı toplumlarda, büyük bir kitle tarafından TAT yöntemlerinin bilindiğini ve kullanıldığını ortaya koymaktadır.

Tablo 3. Tamamlayıcı ve alternatif tıp kullanımlarına yönelik parametreler (N=111)

	Sayı (n)	Yüzde (%)
Yeteri kadar bilgiye sahip olma durumu		
Evet	58	52,3
Hayır	53	47,7
Yöntemlere inanma durumu		
Evet	52	46,8
Hayır	59	53,2
Daha önce kullanma durumu		
Evet	32	28,8
Hayır	79	71,2
Kanser hastalığına ilişkin kullanma durumu		
Evet	49	44,1
Hayır	62	55,9
Yararını görme durumu		
Evet	29	26,1
Hayır	82	73,9
Hakkında sağlık personeline danışma durumu		
Evet	16	14,4
Hayır	95	85,6

Türkiye'de TAT yöntemlerinin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Algier ve ark. (2005) çalışmasında kendi çalışmaları dahil olmak üzere Türkiye'nin değişik bölgelerini yansıtan farklı çalışmaların sonuçları karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonuçları, Türkiye'de kanser hastalarında TAT kullanım oranlarının %36,0-%60,1 arasında değiştiğini göstermektedir (Algier ve ark., 2005). Popülasyon temelli bir çalışmada, genel popülasyonla karşılaştırıldığında (n=21.922) kanserden kurtulanlar (n=1.471) arasında hastalığı önleme, bağışıklık sistemini geliştirme ve ağrı yönetimi için TAT kullanım sıklığının anlamlı olarak daha yüksek olduğu saptanmıştır. Ayrıca, kanserden kurtulanlar arasında en sık kullanılan TAT yöntemlerinin sırasıyla kayropratik/osteopati (%34,6), otlar (%32,5), masaj (%19,4), derin nefes alma (%18,3), meditasyon

(%13,2) ve özel diyetler (%11,5) olduğu belirlenmiştir (Mao ve ark.,2011). Yates ve ark. (2005) yaptığı çalışmada kemoterapi ve radyasyon tedavisi alan kanser hastalarında (n=752) en sık kullanılan TAT tedavisinin dua olduğu bulunmuştur (Yates ve ark., 2005). Meme kanseri olan ve kemoterapi tedavisi alan kadınlarda (n=546) yapılan başka bir çalışmada ise dua yönteminin %86; vitamin ve mineral kullanımının %26,9 oranında kullanıldığı bildirilmiştir (Chui ve ark., 2018). Luo ve ark. (2017) çalışmasında kanser hastaları (n=603) üzerinde yaptıkları çalışmada kullanılan en yaygın tedavilerin vitamin ve mineral takviyeleri (%56), dua (%46) ve bitkisel takviyeler (%25) olduğu belirlenmiştir (Luo ve ark., 2017). Amerika’da kanser hastaları üzerine yapılan bir çalışmada (n = 2967) kullanım nedeni farketmeksizin son bir yılda en sık kullanılan yöntemlerin bitkisel tedaviler (%56,8), kayropratik (%27,1) ve masaj (%24,9) olduğu belirlenmiştir (Rhee ve ark., 2019). Çalışmamızda katılımcıların kullandıkları TAT yöntemlerine bakıldığında en sık kullanılan yöntemler sırasıyla bitkiler (%41,4), bitkisel ilaçlar (%29,7) ile dinsel ve spiritüel yöntemler (dua: %32,5, şifalı su: %27,9, türbe ziyareti: %21,6) iken en az tercih edilen yöntemlerin ise sırasıyla akupunktur (%1,8), homeopati (%1,8) ve yoga (%3,6) olduğu belirlenmiştir (Tablo 4). Bu bulgular dil, din, ırk gözetmeksizin insanların bitki ve dua yöntemini sıklıkla kullandığını göstermektedir.

Tablo 4. Tamamlayıcı ve alternatif tıp olarak kullanılan yöntemlerin dağılımı (N=111)

	Sayı (n)	Yüzde (%)
Bitkiler	46	41,4
Bitkisel İlaçlar	33	29,7
Dua	36	32,4
Şifalı Su	31	27,9
Türbe Ziyareti	24	21,6
Vitamin Kullanımı	20	18,0
Masaj	14	12,6
Meditasyon	13	11,7
Yoga	4	3,6
Homeopati	2	1,8
Akupunktur	2	1,8

Diyet örüntülerinin ve diyet bileşenlerinin kanser riskinin azaltılması veya artırılmasında büyük rol oynadığına dair artan kanıtlar vardır (Miraghajani ve ark., 2018). Katılımcıların kullandıkları bitkisel yöntem, besinler ve diyet yaklaşımları sorgulandığında hastaların en sık kullandıkları besinler ve bitkisel yöntemlerin sırasıyla sarımsak (%89,2), zerdeçal (%64,9), brokoli (%59,5), çörekotu (%45,0) ve yeşil çay (%43,2) olduğu belirlenmiştir (Tablo 5). Allium cinsinden olan sarımsak ve soğanın düzenli tüketiminin, özellikle gastrointestinal sistem kanserleri olmak üzere kanser riskinin azalmasıyla ilişkili olduğu gösterilmiştir (Nicastro ve ark., 2015). Son veriler, brokoli, lahanası gibi turpgiller familyasına ait sebzelerin düzenli tüketiminin, kanser insidansının azalmasıyla ilişkili olduğunu ileri sürmektedir. Bu sebzelerin antikanser aktivitesi, turpgiller arasında değişen yüksek kükürt içeren glukozinolat içeriğiyle ilişkilendirilmiştir (Lozanovski ve ark., 2020). Zerdeçalın kanser üzerindeki etkilerini belirlemeyi amaçlayan sistematik derlemeye 22 klinik çalışma dahil edilmiştir. Çalışmanın sonuçları kurkuminin kemoterapi ve radyoterapinin etkinliğini artırarak hastaların hayatta kalma süresini iyileştirdiğini ve anti-metastatik proteinlerin ekspresyonunu artırdığını vurgulamaktadır (Mansouri ve ark., 2020). Çörekotunun içeriğinde yer alan aktif

bileşeni timokinonun anti-kanser özellikleri *in vivo* ve *in vitro* çalışmalarla bildirilmiştir (Mahmoud ve Abdelrazek, 2019). Yeşil çayın antioksidan özelliği ile kansere karşı koruyucu etkisinin olabileceği belirtilmektedir (Shirakami ve Shimizu, 2018). Jian ve ark. (2004) Güneydoğu Çin bölgesinde yaptıkları çalışmada, yeşil çay tüketiminin artışıyla prostat kanser riskinin azaldığını bildirmişlerdir (Jian ve ark., 2004). Yeşil çay alımıyla kolorektal kanser riski arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmada (n=2742), en yüksek yeşil çay alım grubundaki katılımcılarda, en düşük yeşil çay alımına sahip katılımcılara göre yaklaşık %40 daha az kolorektal kanser riski belirlenmiştir (Kim ve ark., 2019).

Meyve-sebze ve tam tahıl tüketimini destekleyen ve işlenmiş ürün tüketimini sınırlayan Akdeniz diyetinin farklı kanser bölgelerinde tümör patogenezi ile ters orantılı olduğu belirlenmiştir (Schwingshackl ve Hoffmann, 2016). Bravi ve ark. (2018) çalışmasından elde edilen bulgular, Akdeniz diyetine uyumun mesane kanseri üzerinde olumlu bir rol oynadığını göstermektedir (Bravi ve ark., 2018). Jones ve ark. (2017) İngiltere’de yaptıkları çalışma Akdeniz diyetine uyumun, kolorektal kanser riskini düşürebileceğini göstermiştir (Jones ve ark., 2017). Gözlemsel çalışmalar Akdeniz diyetinin kansere bağlı mortalite riskinin azalması ve özellikle kolorektum, meme, mide olmak üzere çeşitli kanser türlerinin insidansının azalması ile ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır (Schwingshackl ve Hoffmann, 2016). Bununla birlikte, düşük karbonhidrat ve yüksek proteinli beslenme düzenlerinin meme, kolorektal, baş veya boyun kanseri riski ile ilişkili olmadığı ve prostat kanseri riskine olan katkılarının ise karışık olduğu bildirilmektedir (Steck ve ark., 2020). İşlenmiş ve kırmızı et tüketiminin prostat kanseri üzerine olan etkilerine dair veriler eksik olsa da önemli kanıtlar, işlenmiş kırmızı etin tüm nedenlere bağlı ölüm riskini artırdığını göstermektedir (Peisch ve ark., 2017). Klinik öncesi çalışmaların çoğu ketojenik diyetin kemo ve radyoterapinin antitümör etkilerini artırma potansiyeli ve yaşam kalitesinde artışa dayalı olarak standart tedavilerle kombinasyon halinde kullanılmasını önermektedir. Bununla birlikte, ketojenik diyetin mekanizmalarını daha fazla aydınlatmak ve klinikte uygulamasını değerlendirmek için daha fazla moleküler ve kontrollü klinik araştırmalara ihtiyaç vardır (Weber ve ark., 2020). Aralıklı açlığın kanser riskini azaltabileceğine dair görüşler, insülin, inflamasyon ile ilgili sitokinler, leptin ve adiponektin gibi kanser riskini gösteren biyobelirteçler üzerindeki etkilerinden yola çıkarak oluşturulmuştur (Mattson ve ark., 2017). Lv ve ark. (2014) aralıklı açlık modelinin kanser üzerindeki etkilerini araştıran hayvan çalışmalarını derlemiştir. Hayvan çalışmalarının (n=8) %37,5’inde aralıklı oruç modelinin kansere karşı koruyucu etkileri olmadığı gösterilmiştir. Beş çalışma ise kanserin ilerlemesinde aralıklı açlık modelini araştırmış olup bu çalışmalardan ikisi aralıklı açlığın tümör büyümesini geciktirdiğini ortaya koymuştur (Lv ve ark., 2014). Hayvan çalışmalarındaki belirsizliklerle birlikte aralıklı açlık modelinin kanser üzerindeki etkilerini gösteren insan çalışmaları eksiktir (Mattson ve ark., 2017). Çalışmamızda katılımcıların çoğunluğu yüksek proteinli diyet (%53,2) ve Akdeniz diyeti (%36) uygularken; ketojenik, vejeteryan, paleo ve aralıklı açlık gibi farklı diyet yaklaşımlarının hiç kullanılmadığı saptanmıştır (Tablo 5).

Tablo 5. Katılımcıların kullandıkları bitkisel yöntem, besinler ve diyet yaklaşımları (N=111)

	Sayı (n)	Yüzde (%)
Sarımsak	99	89,2
Zerdeçal	72	64,9
Brokoli	66	59,5
Çörek Otu	50	45,0
Yeşil Çay	48	43,2
Probiyotik	41	36,9
Kuşburnu	33	29,7
Propolis	32	28,8
Isırgan Otu	13	11,7
Anzer Balı	13	11,7
Üzüm Çekirdeği Ekstresi	11	9,9
Diyet Yaklaşımları		
Yüksek Proteinli Diyet	59	53,2
Akdeniz Diyeti	40	36,0
Düşük Karbonhidratlı Diyet	15	13,5
Kalori Kısıtlı Diyet	1	0,9

4. Sonuç

Kanser dünya çapında önde gelen bir ölüm nedenidir ve kanser hastaları tarafından TAT kullanımı dünya genelinde oldukça yaygındır. Modern tedaviye yardımcı olarak TAT yöntemleriyle birlikte kullanıldığı bilimsel literatür çalışmaları da her geçen yıl artmaktadır. Kanser hastaları arasında TAT kullanımındaki artış nedeniyle, bu yöntemlerin geniş çaplı çalışmalarla açığa çıkarılması ve sağlık profesyonellerinin hastalarını bilinçlendirmesi gerekmektedir.

Kaynakça

Algier, L., Hanoğlu, Z., Özden, G., Kara, F. (2005) The Use of Complementary and Alternative (Non-Conventional) Medicine in Cancer Patients in Turkey. *European Journal of Oncology Nursing*, 9, 138-146.

Berretta, M., Della Pepa, C., Tralongo, P., Fulvi, A., Martellotta, F., Lleshi, A., et al. (2017). Use of Complementary and Alternative Medicine (CAM) in cancer patients: An Italian multicenter survey. *Oncotarget*, 8(15), 24401.

Bravi, F., Spei, M. E., Polesel, J., Di Maso, M., Montella, M., Ferraroni, M., et al. (2018). Mediterranean diet and bladder cancer risk in Italy. *Nutrients*, 10(8), 1061.

Chui, P. L., Abdullah, K. L., Wong, L. P., Taib, N. A. (2018). Complementary and alternative medicine use and symptom burden in women undergoing chemotherapy for breast cancer in Malaysia. *Cancer nursing*, 41(3), 189-199.

Elolemy, A. T., & AlBedah, A. M. (2012). Public knowledge, attitude and practice of complementary and alternative medicine in Riyadh region, Saudi Arabia. *Oman medical journal*, 27(1), 20.

Jian, L., Xie, L. P., Lee, A. H., Binns, C. W. (2004). Protective effect of green tea against prostate cancer: a case-control study in southeast China. *International journal of cancer*, 108(1), 130-135.

Jones, P., Cade, J. E., Evans, C. E., Hancock, N., & Greenwood, D. C. (2017). The Mediterranean diet and risk of colorectal

cancer in the UK Women's Cohort Study. *International journal of epidemiology*, 46(6), 1786-1796.

Kav, S., Hanoğlu, Z., & Algier, L. (2008). Türkiyede Kanserli Hastalarda Tamamlayıcı ve Alternatif Tedavi Yöntemlerinin Kullanımı: Literatür Taraması. *International Journal of Hematology & Oncology/UHOD: Uluslararası Hematoloji Onkoloji Dergisi*, 18(1).

Keene, M. R., Heslop, I. M., Sabesan, S. S., Glass, B. D. (2019). Complementary and alternative medicine use in cancer: A systematic review. *Complementary therapies in clinical practice*, 35, 33-47.

Kim, H., Lee, J., Oh, J.H., Chang, H.J., Sohn, D.K., Shin, A., et al. (2019). Protective Effect of Green Tea Consumption on Colorectal Cancer Varies by Lifestyle Factors. *Nutrients*, 11(11), 2612.

Lozanovski, V. J., Polychronidis, G., Gross, W., Gharabaghi, N., Mehrabi, A., Hackert, T., et al. (2020). Broccoli sprout supplementation in patients with advanced pancreatic cancer is difficult despite positive effects—results from the POWDER pilot study. *Investigational new drugs*, 38(3), 776-784.

Luo, Q., & Asher, G. N. (2017). Complementary and alternative medicine use at a comprehensive cancer center. *Integrative cancer therapies*, 16(1), 104-109.

Lv, M., Zhu, X., Wang, H., Wang, F., Guan, W. (2014). Roles of caloric restriction, ketogenic diet and intermittent fasting during initiation, progression and metastasis of cancer in animal models: a systematic review and meta-analysis. *PloS one*, 9(12), e115147.

Mahan, L. K., & Raymond, J. L. (2016). *Krause's Food & the Nutrition Care Process*, Mea Edition E-Book. Elsevier.

Mahmoud, Y.K., Abdelrazek, H.M. (2019). Cancer: Thymoquinone antioxidant/pro-oxidant effect as potential anticancer remedy. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 115, 108783.

Mansouri, K., Rasoulpoor, S., Daneshkhah, A., Abolfathi, S., Salari, N., Mohammadi, M., et al. (2020). Clinical effects of curcumin in enhancing cancer therapy: A systematic review. *BMC cancer*, 20(1), 1-11.

Mao, J. J., Palmer, C. S., Healy, K. E., Desai, K., & Amsterdam, J. (2011). Complementary and alternative medicine use among cancer survivors: a population-based study. *Journal of Cancer Survivorship*, 5(1), 8-17.

Mattson, M. P., Longo, V. D., & Harvie, M. (2017). Impact of intermittent fasting on health and disease processes. *Ageing research reviews*, 39, 46-58.

Miraghajani, M., Rafie, N., Hajianfar, H., Larijani, B., & Azadbakht, L. (2018). Aged garlic and cancer: A systematic review. *International journal of preventive medicine*, 9.

Nicastro, H. L., Ross, S. A., & Milner, J. A. (2015). Garlic and onions: their cancer prevention properties. *Cancer prevention research*, 8(3), 181-189.

Nilsson, J., Källman, M., Östlund, U., Holgersson, G., Bergqvist, M., & Bergström, S. (2016). The use of complementary and alternative medicine in Scandinavia. *Anticancer research*, 36(7), 3243-3251.

Öztürk, R., Şatır, D. G., & Sevil, Ü. (2016). Jinekolojik kanserli hastaların tamamlayıcı ve alternatif tedavi kullanım durumları ve tutumlarının incelenmesi. *Gaziantep Medical Journal*, 22 (3), 141-147.

Peisch, S.F., Van Blarigan, E.L., Chan, J.M., Stampfer, M.J., Kenfield, S. A. (2017). Prostate cancer progression and

- mortality: a review of diet and lifestyle factors. *World journal of urology*, 35(6), 867-874.
- Rhee, T. G., Pawloski, P. A., & Parsons, H. M. (2019). Health-related quality of life among US adults with cancer: Potential roles of complementary and alternative medicine for health promotion and well-being. *Psycho-oncology*, 28(4), 896-902.
- Roy, P. S., Saikia, B. J. (2016). Cancer and cure: A critical analysis. *Indian journal of cancer*, 53 (3), 441.
- Schwingshackl, L., & Hoffmann, G. (2016). Does a Mediterranean-type diet reduce cancer risk?. *Current nutrition reports*, 5(1), 9-17.
- Shirakami, Y., & Shimizu, M. (2018). Possible mechanisms of green tea and its constituents against cancer. *Molecules*, 23(9), 2284.
- Steck, S.E., Murphy, E.A. (2020). Dietary patterns and cancer risk. *Nature Reviews Cancer*, 20(2), 125-138.
- Torre, L. A., Siegel, R. L., Ward, E. M., & Jemal, A. (2016). Global cancer incidence and mortality rates and trends—an update. *Cancer Epidemiology and Prevention Biomarkers*, 25(1), 16-27.
- Viscuse, P. V., Price, K., Millstine, D., Bhagra, A., Bauer, B., & Ruddy, K. J. (2017). Integrative medicine in cancer survivors. *Current opinion in oncology*, 29(4), 235.
- Weber, D. D., Aminzadeh-Gohari, S., Tulipan, J., Catalano, L., Feichtinger, R. G., & Kofler, B. (2020). Ketogenic diet in the treatment of cancer—where do we stand?. *Molecular metabolism*, 33, 102-121.
- Wode, K., Henriksson, R., Sharp, L., Stoltenberg, A., & Nordberg, J. H. (2019). Cancer patients' use of complementary and alternative medicine in Sweden: a cross-sectional study. *BMC complementary and alternative medicine*, 19(1), 62.
- World Health Organisation, International Agency for Research on Cancer. (2018). Population Fact Sheets, Turkey. <https://gco.iarc.fr/today/data/factsheets/populations/792-turkey-fact-sheets.pdf> Date of Access: 19.10.2020
- Yang, G., Zhang, H., Gan, Z., Fan, Y., Gu, W., & Ling, C. (2018). Discrepant views of oncologists and cancer patients on complementary and alternative medicine in a Chinese general hospital. *Integrative Cancer Therapies*, 17(2), 451-457.
- Yates, J. S., Mustian, K. M., Morrow, G. R., Gillies, L. J., Padmanaban, D., Atkins, J. N., et al. (2005). Prevalence of complementary and alternative medicine use in cancer patients during treatment. *Supportive care in cancer*, 13(10), 806-811.



Yağlı Tohumlarda Ultrasonik Destekli Ekstraksiyon Yöntemi ve Avantajları

Tuğba Dedebaş¹, Tuğba Dursun Çapar^{2*}, Lütfiye Ekici³, Hasan Yalçın⁴

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Bolvadin MYO., Afyon, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1663-0165), tugbadedebas@gmail.com

²Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1075-0054), tugbadursun@erciyes.edu.tr

³Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2216-9128), lutfiyed@erciyes.edu.tr

⁴Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1038-1877) hyalcin@erciyes.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 30 Haziran 2020 ve Kabul Tarihi 03 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.759702)

ATIF/REFERENCE: Dedebaş, T., Dursun Çapar, T. Ekici, L. & Yalçın, H. (2021). Yağlı Tohumlarda Ultrasonik Destekli Ekstraksiyon Yöntemi ve Avantajları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 313-322.

Öz

Tohum yağları, endüstriyel olarak mekanik presleme veya organik çözücü kullanılarak ekstrakte edilmektedir. Endüstriyel olarak solvent ekstraksiyon aşamasında, tohumlardan yağ ekstrakte etmek için çözümler kullanılmaktadır. Bu tür çözümlerin endüstriyel kullanımı ile ilgili çevresel kaygılara ek olarak, yüksek sıcaklık ve uzun ekstraksiyon zamanı gerektirmesi solvent ekstraksiyonunun dezavantajı olarak kabul edilmektedir. Son yıllarda solvent ekstraksiyonuna alternatif yöntemler çalışılmaktadır. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar, ultrasonik-destekli ekstraksiyonun (UDE) umut verici yöntemlerden biri olduğunu ortaya koymaktadır. Ultrason uygulaması akustik kaviteasyon kuvveti ile sıvıdaki kütle transferini artırmaktadır. Patlayıcı kabarcıklar tarafından üretilen yüksek kayma derecesi, hücre duvarlarına zarar vererek hücre içi bileşenlerin çözücüye geçişini artırmaktadır. UDE yöntemi; hızlı, yüksek verimli ve düşük sıcaklıklarda uygulandığından ekstraktların termal zararlanmasını önleyerek biyoaktif bileşiklerin yapısal ve moleküler özelliklerinin korunumunda etkili bir yöntemdir. Sıralanan avantajları nedeni ile yağ endüstrisinde ideal bir seçenek oluşturmaktadır. Ultrasonik uygulamalar, sürdürülebilir “yeşil kimya” ve ekstraksiyon hedefine ulaşmada kilit bir teknoloji olarak dikkat çekmektedir. Mevcut çalışmada UDE’ nin uygulama alanları ile diğer yöntemlere kıyasla sahip olduğu avantajlar derlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ultrason, yağlı tohum, yağ ekstraksiyon, yeşil kimya,

Ultrasound-Assisted Extraction Method and Its Advantages in Oil Seeds

Abstract

Seed oils are extracted industrially using mechanical pressing or organic solvents. In solvent extraction method, solvents are used to extract oil from oil seeds. In addition to the environmental concerns associated with the industrial use of such solvents, the need for high temperature and long extraction time is considered to be the disadvantage of solvent extraction. In recent years, alternative methods to solvent extraction have been examined. The results of these studies reveal that ultrasonic-assisted extraction (UAE) is one of the promising methods. Ultrasound application increases the mass transfer in liquid with acoustic cavitation force. The high degree of shear produced by explosive bubbles increases the penetration of the intracellular components into the solvent by damaging the cell walls. UAE method; is an effective method for preserving the structural and molecular properties of bioactive compounds by preventing thermal damage of extracts since it is applied with high efficiency and at low temperatures. Due to the listed advantages, it is an ideal choice in the oil industry. Ultrasonic applications stand out as a key technology in achieving the goal of sustainable green chemistry” and extraction. In the present study, the application areas of the UAE and its advantages over other methods have been compiled.

Keywords: Ultrasound, oilseed, oil extraction, green chemistry, product.

* Sorumlu Yazar: tugbadursun@erciyes.edu.tr

1. Giriş

Yağlar vücut tarafından kullanılan temel enerji kaynaklarından biridir. Sinir uyarılarının iletilmesinde, hücre zarının bütünlüğünün korunmasında ve hücre taşıyıcıda rol alırlar. Ayrıca, birçok hormonun öncülleri olmaları gibi nedenlerle de günlük diyetlere yeterli miktarda yağın ilave edilmesi önem kazanmaktadır. Yağlı tohumlar, monoaçil gliserol, diaçil gliserol, triaçilgliserol ve pigmentler, steroller, antioksidanlar ve alkaloidler gibi minor bileşiklerin ekstrakte edilebilen kompleks matrikslerdir (Meireles, 2008).

Yağ açısından zengin bitki tohumlarının yağları, endüstriyel olarak mekanik presleme veya organik çözücü kullanılarak ekstrakte edilmektedir (Liu ve diğ., 2009a). Mekanik presleme, yüksek kalitede yağ eldesi sağlarken, ekstraksiyon işlemi ise yüksek enerji gerektirmektedir (Liu ve diğ., 2009a; Liu ve diğ., 2009b). Presleme, tohumun katı kısımdan yağın sıkılarak çıkarılmasına dayanan eski bir yöntem olup yağın %30'dan fazlası matrikste kalmaktadır. Kalan yağın çıkarılması ve maksimum yağ elde edilmesi için preslenen kek daha sonra solvent ekstraksiyonuna tabi tutulur. Solvent ekstraksiyonunda tohumda kalan yağın tamamına yakın kısmı alınabilmektedir (Carrin ve Crapiste, 2008). Endüstriyel olarak solvent ekstraksiyon aşamasında, karşı akım özütleyicilerde yüksek miktarda heksan, metanol, etanol, petrolüym eteri ve aseton gibi çözümler kullanılmaktadır (Mitra, Ramaswamy ve Chang, 2009; Eikani, Golmohammad ve Homami, 2012; Stanisavljević, Lazić ve Veljković, 2007). Bu tür çözücülerin endüstriyel kullanımı ile ilgili çevresel kaygılara ek olarak, yüksek sıcaklıkta uygulanması ve ekstraksiyon zamanının uzun olması da solvent ekstraksiyonunun dezavantajları arasında yer almaktadır (Zhang ve diğ., 2008). Belirtilen bu nedenlerle, solvent ekstraksiyonuna alternatif olarak etkili ve seçici yağ ekstraksiyonu sağlayan teknikler geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Artan enerji maliyetleri ve sürdürülebilir yeşil kimya, gıda ve bitki bazlı kimya endüstrilerini enerji tüketimini azaltan, emisyonadaki yasal gereklilikleri karşılayan, ürün/proses güvenliğini ve kontrolünü sağlayan yeni teknolojilere yöneltmiştir. Bu teknolojilerin maliyeti azaltıp, kalite ve fonksiyonelliği artırması istenmektedir. Günümüzde solvent ekstraksiyonuna alternatif olarak süper kritik akışkan ekstraksiyonu ve ultrasonik-destekli ekstraksiyon uygulamaları dikkat çekmektedir (Liu ve diğ., 2009a; Liu ve diğ., 2009b; Liu, Xu, Hao ve Gao, 2009c). Süper kritik akışkan ekstraksiyonu, temiz ve toksik olmayan çözücü gerektirirken (Liu ve diğ., 2009a) endüstriyel kullanımı karmaşık, aparatlarının pahalı ve yağ veriminin düşük olması gibi dezavantajları bulunmaktadır (Rui, Zhang, Li ve Pan, 2009). Bu nedenlerle özellikle son yirmi yıldır bu tür eksikliklerin giderilmesi için ultrasonik-destekli ekstraksiyon gibi otomasyona uygun, gelişmiş ve verimli ekstraksiyon tekniklerinin kullanımı üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Ultrason teknikleri nispeten ucuz, ekstraksiyon süresi kısa, organik çözücü tüketimi daha düşük dolayısı ile de enerji ve maliyet tasarrufu sağlayan yöntemlerdir. Bunların yanı sıra hızlı, verimi yüksek, düşük sıcaklıklarda yapılabildiği için ekstraktların termal açıdan zarar görmesini önleyen ve biyoaktif bileşiklerin moleküler özelliklerini koruyan yağ endüstrisinde ideal bir seçenek oluşturmaktadır (Madhu, Sai Srinivas, Srinivas ve Jain, 2019).

İnsan işitme sınırının ötesinde frekanslı ses dalgalarından oluşan ultrason, 20 kHz veya daha yüksek frekanslarda olan akustik basınç dalgalarını ifade etmektedir. Birçok endüstriyel uygulamada frekansı ayarlayarak ultrason başarı ile kullanılabilir. Ultrasonik dalga üreten sistemler;

jeneratör, dönüştürücü ve uygulama sistemlerinden oluşmaktadır. Jeneratör elektriksel veya mekanik enerji üretirken, dönüştürücü bu enerjiyi ultrasonik frekanslarda ses enerjisine dönüştürmektedir (Ercan ve Soysal, 2013).

Ultrason, 20 kHz ile 10 MHz aralığında olup;

- 1) yüksek yoğunluklu ve düşük frekanslı (20–100 kHz),
- 2) orta yoğunlukta ve ara frekans (100 kHz-1 MHz aralığı)
- 3) düşük yoğunluklu ve yüksek frekanslı (1-10 MHz) olmak üzere üç kategoriden oluşmaktadır

(Gharibzahedi ve Smith, 2020; Hu, Cheung, Pan, & Li-Chan, 2015; Alarcon-Rojo, Carrillo-Lopez, Reyes-Villagrana, Huerta-Jimenez ve Garcia Galicia, 2019).

Düşük yoğunluklu yüksek frekanslı ultrason yönteminde, kompozisyon ve yapı gibi gıdaların fizikokimyasal özellikleri hakkında bilgi sağlayan analitik uygulamalarda kullanılmaktadır (Zhang, Regenstein, Zhou ve Yang, 2017). Yüksek yoğunluklu ultrason olarak da bilinen yüksek güçlü ultrason ise, gıdaların fiziksel, kimyasal veya mekanik özelliklerinde değişiklikler yapmak amacıyla tercih edilmektedir (Téllez-Morales, Hernández-Santo ve Rodríguez-Miranda, 2020). Gıdalara ultrason doğrudan uygulama, cihaza bağlama ve ultrason banyosuna daldırma olmak üzere üç farklı şekilde uygulanabilmektedir (Madhu, Sai Srinivas, Srinivas ve Jain, 2019). Genel olarak, gıda işlemede ultrason düşük frekanslarda (20-100 kHz) kullanılmaktadır (Ashokkumar, 2015; Ojha Mason, O'Donnell, Kerry ve Tiwari, 2017). Ultrason uygulamalarda 10-1000 W/cm² ses yoğunluğunda kaviteasyona neden olmaktadır (Feng ve Yang, 2005). Ultrason destekli ekstraksiyon yönteminde; geleneksel termal yaklaşımlara ultrasonik işlem ekleyerek oluşturulan akustik kaviteasyon kuvvetinin etkisi ile kütle transferi artırılmaktadır. Patlayıcı kabarcıklar tarafından üretilen yüksek kayma derecesi, hücre duvarlarına zarar vererek hücre içi bileşenlerin çözücüye geçmesini sağlamaktadır (Boateng ve Nasiru, 2019). Son yıllarda ultrason destekli ekstraksiyondaki gelişmeler ultrason destekli Soxhlet ekstraksiyonu, ultrason destekli Clevenger destilasyonu, sürekli ultrason destekli ekstraksiyon ve mikrodalga, ekstrüzyon, süper kritik akışkan ekstraksiyonu ile birleştirilmiş ultrason gibi yenilikçi tekniklerin ortaya çıkmasını sağlamıştır (Chemat ve diğ., 2017).

2. Ultrasonik ekstraksiyonu etkileyen parametreler

Ultrasonun bir sıvıdaki sonokimyasal etkileri, akustik kaviteasyon olaylarına bağlıdır. Akustik kaviteasyon genel olarak ultrason dalgasının sıvı bir ortamda yayılması sırasında meydana gelen kabarcık oluşumu, kabarcığın büyümesi ve patlaması anlamına gelmektedir (Kentish ve Ashokkumar, 2011). Sıvı molekülleri oluşturan moleküller çekici kuvvetlerle bir arada tutulmaktadır. Ultrason dalgasının elastik bir ortam boyunca yayılması, yapısal moleküllerin uzunlamasına yer değiştirmesi ile sonuçlanan bir basınç oluşturmaktadır. Sıvı fazı oluşturan moleküller bu basınç etkisi ile orijinal konumlarından çıkmakta ve kendilerini çevreleyen moleküllerle birleşmektedirler (Ercan ve Sosyal, 2011). Ultrasonik ekstraksiyonu etkileyen parametreler fiziksel ve ortam parametreleri olarak başlıca 2 grupta toplanarak açıklanmıştır.

2.1. Fiziksel Parametreler

Ultrason uygulaması mekanik bir dalga olduğundan, frekans, dalga boyu ve genlik gibi özellikleri akustik kaviteasyonu ve

dolayısıyla ekstraksiyonu etkilemektedir. Gücün yanı sıra reaktör tasarımı ve probun şekli de işlemi etkileyebilmektedir (Palma ve diğ., 2013). Yapılan çalışmalar yüksek ultrasonik gücün, materyalde daha büyük kesme kuvvetlerini indükleyerek (ortamın yapısına ve özelliklerine bağlı olarak) önemli değişikliklere neden olduğunu göstermektedir. Ancak, gıda endüstrisinde genellikle bu parametre, en iyi sonucu elde etmek için minimum güç kullanılarak optimize edilmektedir (Bermúdez-Aguirre, Mobbs ve Barbosa-Cánovas, 2011). Genel olarak ultrason destekli ekstraksiyonda ekstraksiyon verimi ve etkinliğini artırmak için ultrason gücü artırılmakta, çözücü-katı temasını arttırmak için gıda matrislerinin nemi azaltılmaktadır. Bu uygulamalarda ekstraksiyon süresini kısaltmak için sıcaklık da optimize edilebilmektedir. Ultrason destekli ekstraksiyonlarda en sık kullanılan frekanslar 20-100 kHz arasındadır (Madhu, Sai Srinivas, Srinivas ve Jain, 2019).

Ultrasonik yoğunluk, saniye başına ve yayılan yüzeyin metre kare başına iletilen enerji olarak ifade edilmektedir. Bu parametre doğrudan dönüştürücünün genliği ve dolayısıyla da ses dalgasının basınç genliği ile ilişkilidir. Basınç genliğindeki artışla birlikte, kabarcık çökmesi daha şiddetli olmaktadır. Kaviteasyon eşiğini elde etmek için minimum bir ultrasonik yoğunluk değeri gereklidir. Ultrasonik yoğunluk, ekstraksiyon verimini kuvvetlice etkileyen bir girdi değeridir. Ultrasonik yoğunluğun artması genellikle sonokimyasal etkilerin artmasına neden olmaktadır. Genliği artırmak ultrasonik yoğunluğu artırabilir. Ancak, yüksek genlik ultrasonik dönüştürücüsünün hızlı bir şekilde bozulmasına yol açabilmektedir. Bunun sonucunda ise kaviteasyon yerine sıvılar karışmakta ve ultrason sıvı ortamda zayıf bir şekilde iletilmektedir (Capelo-Martinez, 2009).

2.2. Ortam Parametreleri

Ortam, ultrason destekli ekstraksiyonun başarısında etkili parametrelerin başında gelmektedir. Ultrason uygulamasında kullanılacak çözücü, hedef metabolitlerin çözünürlüğünü esas almakla birlikte çözücünün buhar basıncı, yüzey gerilimi ve viskozitesi de önem taşımaktadır. Bu fiziksel parametreler akustik kaviteasyonu ve daha spesifik olarak kaviteasyon eşiğini etkilemektedir (Mason ve Lorimer, 2002). Viskozite veya yüzey gerilimi artışı, moleküler etkileşimlerde artışa neden olarak kaviteasyon eşiğini önemli ölçüde arttırmaktadır. Örneğin viskozitesinin artması ile ultrason cihazın hareketine olan direnci arttırdığından, yüksek viskoziteye sahip numuneler ile çalışılırken yüksek güç (genlik) ile çalışılması tavsiye edilmektedir (Capelo-Martinez, 2009). Ultrason ekstraksiyonunda genellikle düşük buhar basıncına sahip çözümler tercih edilmektedir. Çünkü bu tip çözümlerde kaviteasyon baloncuklarının bir araya gelmesi, yüksek buhar basıncına sahip olan çözümlere göre daha iyi olmaktadır (Flannigan ve Suslick, 2010).

Sıcaklık, çözümler özelliklerinin etkileyen bir diğer parametredir. Sıcaklık artışı viskoziteyi ve yüzey gerilimini azaltırken, buhar basıncını arttırmaktadır. Buhar basıncının artması, daha fazla çözümler buharının kaviteasyon kabarcığına girmesine neden olup kaviteasyon etkilerini azaltmaktadır (Capelo-Martinez, 2009). Genellikle sıcaklığın artması, ekstraksiyon veriminin artmasına neden olmaktadır (Palma ve diğ., 2013).

Ortamda gaz bulunmayışı kaviteasyon baloncuklarının oluşumunu zorlaştırır, çünkü kaviteasyon baloncukları ultrason uygulanan sıvı içinde çözünmüş gazlardan (buhar) oluşmaktadır (Petrier, Gondrexon ve Boldo, 2008). Çözümler içine çözünmüş gazlar yeni bir kaviteasyon kabarcığı için çekirdek görevi görmektedir (Mason ve Lorimer, 2002; Leong, Ashokkumar ve Kentish, 2011). Ultrasonun amacına ve hedef bileşenlere göre

bitki matrisi taze veya kuru olarak kullanılabilir. Gıda matrisine uygulanan önceki işlemler önemli olmakla birlikte ekstraksiyon etkinliğini değiştirebilmektedir (Koubaa ve diğ., 2016).

3. Ultrasonun gıdalardaki uygulamaları

Ultrason tekniği ilk olarak 1960'lı yıllarda bakteriyel lizis, emülsifikasyon ve sanitasyon uygulamaları için düşük frekanslı ultrason üreten sonotrodların kullanımı ile başlamıştır (Mason ve Lorimer, 2002). 1970-1995 yılları arasında, 6 kW'a kadar çalışan yüksek güçlü ultrason ekipmanı geliştirilmiştir. Geçtiğimiz 10 yılda, ultrasonik uygulamalar, havada yüksek miktarda ultrason üretebilen sistemlerin yanı sıra, daha yüksek megasonik frekanslarda (>400 kHz) ve çeşitli güç seviyelerinde (sırasıyla > 100W) ultrason üretebilen sistemlerin gelişmelerinin bir sonucu olarak kullanım alanını genişletmeye devam etmektedir (Liu ve diğ., 2014).

Günümüzde, ultrason teknolojisi tıbbi tarama, mineral işleme, nanoteknoloji, gıda teknolojisi, endüstriyel kaynak, yüzey temizleme ve çevresel dekontaminasyon uygulamaları gibi hemen hemen tüm alanlarda daha geniş uygulamalar kazanmıştır (Nithila ve diğ., 2014; Seymour, Burfoot, Smith, Cox ve Lockwood, 2002). Ultrason teknolojisi gıdalarda raf ömrünü uzatırken, işlenmeyi en aza indirmek, kaliteyi artırmak, işlem etkinliğini ve verimliliğini artırmak ve gıda güvenliği sağlamak için kullanılacak yeni ve umut verici bir teknolojidir (Huang ve diğ., 2017). Gıda endüstrisinde doğrudan veya dolaylı olarak mikrobiyal inaktivasyon, köpürme, gaz giderme, pişirme, donma ve kristalizasyon, kurutma, marine etme, filtrasyon, homojenizasyon / emülsifikasyon, temizleme, enzim inaktivasyonu ve kesme işlemleri gibi çok farklı alanlarda uygulama alanı bulmuştur. Ayrıca gıdalarda bulunan antioksidanlar, pigmentler, yağlar, fitokimyasallar ve aroma maddeleri gibi çeşitli moleküllerin ekstraksiyonunda da kullanılmaktadır (Wang ve Chen, 2006). Örneğin, ultrason tekniği ile domates yan ürünlerinden (yüzey, tohum ve pulp) karotenoidlerin ekstraksiyonu gelecek vaat eden bir yöntem olarak değerlendirilmektedir (Luengo, Condón-Abanto, Condón, Álvarez ve Raso, 2014).

Mikroorganizmaların inaktivasyonu için uygulanan ısı işlem gıdalarda besin kaybı, istenmeyen tatların gelişimi ve gıda ürünlerinin fonksiyonel özelliklerinin bozulmasına neden olabilmektedir (Yusaf ve Al-Juboori, 2014). Yapılan çalışmalar ultrason işleminin diğer bileşenler ile kombinasyonu sonucunda mikrobiyal inaktivasyon için yeterli olduğunu ortaya koymaktadır. Örneğin; Ayyıldız, Sanik ve İleri (2011) ultrason (20 kHz) ve klordioksit kombinasyonunun, *E. coli* ve toplam koliform sayısını azalttığını belirlemişlerdir. Yapılan diğer bir çalışmada, aşılanmış organik marullarda 5 dakika boyunca 40 kHz gücündeki ultrason ile birlikte %2'lik konsantrasyonda laktik, sitrik veya malik asit uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, bu uygulamaların *E. coli* O157:H7, *S. typhimurium* ve *L. monocytogenes* inaktivasyonunda etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca marullarda renk ve dokunun önemli ölçüde korunduğu da bildirilmiştir (Sagong ve diğ., 2011). Benzer şekilde mikroorganizma inaktivasyonu ile ilgili yapılan bir diğer çalışmada ise, şeftali meyvesinde mavi küfe neden olan *P. expansum*'un inaktivasyonunda, 10 dakika boyunca 40 kHz gücünde ultrason ve beraberinde 0.05 mM salisilik asit uygulamasının, tek başına uygulanan ultrasonik işlemde daha etkili olduğu belirtilmektedir (Yang, Cao, Cai ve Zheng, 2011). Bir diğer çalışmada ise, 40 kHz gücüne sahip ultrason ve %0.1 Tween 20 kombinasyonunun, *B. cereus* sporlarının azaltılması için en etkili uygulama olduğu saptanmıştır. Bu çalışmanın

sonucunda marul ve havuçta, *B. cereus* sporlarının sayısında sırasıyla 2.49 ve 2.22 log CFU/g azalma olduğu, buna karşın dokuda herhangi bir bozulma olmadığı rapor edilmiştir (Sagong ve diğ., 2013).

Literatürde meyve ve sebzelerin hasat öncesi ve sonrası dönemlerde kalitesinin ultrasonik işlem uygulanarak artırma üzerine birçok çalışma yer almaktadır (Brilhante de São José ve diğ., 2014). Bu çalışmaların birinde Chen ve Zhu (2011), Japon eriklerinde (*Prunus salicina* L.) klordioksitin ultrasonla (40 kHz) birlikte kullanılmasının sonucunda eriklerde hasat sonrası kalitenin daha iyi korunduğunu tespit etmişlerdir. Bu koruma meyve ve sebzelerde ultrason teknolojisi bozulma etkeni olan enzimleri kaviteasyon oluşturarak etkisiz hale getirmesinden kaynaklanmaktadır. Kaviteasyon sırasında oluşan kabarcıkların çökmesi sırasında oluşan sıcaklık ve basıncın etkisiyle enzimlerin yapısında bulunan polipeptid zincirlerindeki hidrojen ve van der Waals bağları arasındaki etkileşimi bozulmamaktadır (Rawson, Tiwari, Tuohy, O'Donnell ve Brunton, 2011; Mawson, Gamage, Terefe ve Knoerzer, 2011). Lopez ve diğ., (1994) ultrason (20 kHz) ve ısıl işlemin birlikte uygulanması sonucunda soya fasülyesinde bulunan lipoksigenaz enziminin inaktif hale geldiğini belirtmişlerdir. Yapılan diğer bir çalışmada ise, domateslerde kararmaya neden olan polifenoloksidaz enzimini inaktif hale getirmek için 50 saniye boyunca ultrasonik güç uygulanması ile büyük bir oranda enzimin etkisiz hale getirildiği belirtilmiştir (Ercan ve Soysal, 2011). Wu, Gamage, Vilku, Simons ve Mawson, (2008), domates suyunda bulunan pektin metil esteraz enziminin etkisiz hale gelmesi için ısı (60 ve 65 °C) ve termosonikasyon (25 µm, 50 µm ve 75 µm, 60 °C ve 65 °C) işlemlerinin birlikte uygulanması ile pektin metil esteraz aktivitesinde %90 oranında düşüş olduğunu belirtmişlerdir.

Ultrasonun bir diğer uygulama alanı gazlı içeceklerde gaz gidermedir. Son zamanda gazlı içeceklerden havanın alınması ultrason işlemi ile mümkün hale gelmektedir. Soniklenmiş ortamda kabarcıkların birikmesi, büyük baloncukların yüzeyden yükselmesini kolaylaştırmaktadır (Tervo, Mettin ve Lauterborn, 2006; Boistier-Marquis, Lagsir-Oulahal ve Callard, 1999).

Bir diğer uygulama alanı olan et teknolojisinde hem düşük hem de yüksek yoğunluklu ultrason kullanılmaktadır. Düşük yoğunluk ultrason uygulaması karkas özellikleri, canlı hayvanlarda kas, yağ ve iç organlar gibi dokuların genetik iyileşmede yardımcı olarak kullanılmaktadır (Boateng ve Nasiru, 2019; Awad, Moharram, Shaltout, Asker ve Youssef, 2012). Yüksek yoğunluklu ultrason uygulaması ise tüketici memnuniyetinde önemli kalite özelliklerini temsil eden etin tadı ve yumuşaklığını geliştirmek için odaklanmıştır. Literatürde yapılan çalışmalar, et ve ürünlerinde çeşitli sonikasyon zamanlarında (33 s'den 90 m'ye), frekanslarda (15 ile 130 kHz) ve yoğunluklarda (1.89 ile 64 W/ cm²) yüksek yoğunluklu ultrason yönteminin marınasyon ve ısı gibi diğer teknolojilerle birlikte uygulandığında yüksek hassasiyete yol açan mikro yapısal değişiklikler üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir (Chang, Wang, Tang ve Zhou, 2015; Fan ve diğ., 2017; de Lima Alves ve diğ., 2018; Wang ve diğ., 2018; Xue ve diğ., 2018). Örneğin, Caraveo, Alarco-Rojo, Renteria, Santello ve Paniwnyk (2015) 1,27 cm kalınlıktaki bifteğe 40 kHz frekansta 11 W/cm² yoğunlukta 0, 60 ve 90 dakika süresince uyguladıkları ultrason işlemi sonucunda et parlaklığının arttığını belirtmişlerdir. Yapılan diğer bir çalışmada ise, aynı frekans ve yoğunlukta 20, 40 ve 60 dakika boyunca uygulanan ultrason işlemi sonucunda etin su bağlama kabiliyetinin arttığı saptanmıştır (Gonzalez- Gonzalez ve diğ., 2017).

Süt endüstrisinde son yıllarda alternatif bir yöntem olarak emülsiyon oluşturmak için ultrason kullanılmaktadır. Sıvı gıdalarda ultrason işlemi sırasında oluşan kararsız kaviteasyon kabarcıklarının çökmesiyle yağ küreciklerinin boyutları küçülerek daha kararlı emülsiyonlar oluşmaktadır. Ayrıca ultrason işleminin yüksek basınçlı homojenizasyonla birleştirilmesiyle, stabil nanoemülsiyonlar üretilebilmektedir (Mohammadi, Ghasemi-Varnamkhasi, Ebrahimi ve Abbasvali, 2014; Akdeniz ve Akalın, 2019). Yapılan bir çalışmada %7 keten tohumu yağı içeren emülsiyona 1-8 dakika boyunca 20 kHz gücünde, 176 W sonikasyon işlemi uygulanması sonucunda emülsiyonun jelleşme zamanı azalırken, jel kuvveti ve elastik yapının geliştiği belirlenmiştir (Arroyo, Cebrián, Pagán ve Condón, 2011). Diğer bir çalışmada ise, yağ küreciklerine ultrason ve ısıl işlemin birlikte uygulanması sonucunda proteinlerin boyutunda ve moleküler ağırlığında herhangi bir azalma olmadan yağ küreciklerinin partikül boyutlarının küçüldüğü tespit edilmiştir (Nguyen, Lee ve Zhou, 2009). Hongyu, Hulbert ve Mount (2000), yoğurt fermantasyonu sırasında inkübasyondan önce 1-20 dakika süresince 20 kHz 'lik ultrasonik güç uygulamasının yoğurdun su tutma kapasitesi ve viskozitesini artırırken, fermantasyon süresini kısalttığını saptamışlardır.

Akustik kurutma olarak da bilinen ultrason destekli kurutma yöntemi potansiyel olarak ticari önemi sahiptir. Bu kurutma yönteminde ultrason uygulaması ile malzemede mikroskobik kanallar oluşturulmakta ve bu kanallar yardımıyla buharın merkezden yüzeye kolay taşınması sağlanmaktadır. Sonikasyon işlemi, kurutma işleminde geleneksel yöntemlerden daha düşük sıcaklıkların uygulanmasına izin vermektedir. Isıya duyarlı gıdaların, lezzet, renk ve besin değerlerindeki değişikliğin en düşük seviyede tutulması için ultrason destekli kurutma uygulamalarının başarı ile kullanılabilmesi aktarılmaktadır (Chemat, Huma ve Khan, 2011). Nitekim Gamboa-Santos, Montilla, Cárceles, Villamiel ve Garcia-Pérez (2014), ultrasonik destekli konvektif kurutucularda çilek gibi ısıya duyarlı ürünler için gereken kuruma süresinin kısaltılabildiğini ve bu uygulamanın umut verici bir teknoloji olduğunu belirtmişlerdir. Yapılan diğer bir çalışmada, ultrason uygulanmış sarımsakların 50, 60 ve 70°C sıcaklıklarda kurutulmaları sonucunda kuruma süresinin kısaltıldığını tespit etmişlerdir (Tao, Zhang, Jiang, Xu ve Ye, 2018).

4. Ultrasonun yağlı tohumlarda kullanımı

Ekstraksiyon, bitki bazlı materyallerde bulunan lipofilik bileşenlerin geri kazanılması ve saflaştırılmasında kullanılan kilit noktadır. Klasik ekstraksiyonun temeli, uygun bir çözücünün kullanılması ile lipofilik bileşiklerin yağlı tohumlardan çıkarılması esasına dayanmaktadır. Yağlı tohumlardan yağ çıkarmak için en yaygın olarak kullanılan çözücüler hekzandır. Hekzan, düşük maliyetli olması, çözücünün geri kazanılması ve yağ verimini artırması gibi nedenlerle tercih edilmektedir (Serrato, 1981). Alternatif çözücüler, çözücü ile çözünen arasındaki moleküler afinitenin düşük olması nedeni ile yeterince etkin olmadığından, çözücü ve proses ekipman maliyetleri daha yüksek olabilmektedir. Bu nedenle son yıllarda ultrason uygulaması, yağlı tohumlardan yağ ekstraksiyonunu artıran potansiyel bir teknoloji olarak görülmektedir (Li, Pordesimo ve Weiss, 2004). Ultrason uygulamaları gerek uçucu gerekse de sabit yağların çıkarılmasında etkili bir şekilde kullanılmaktadır (Koubaa, ve diğ., 2016). Ultrason uygulama sürecinde, hedeflenen bir bileşiğin hücre içi ortamdan hücre dışı ortama ekstraksiyonunu geliştirmeyi amaçlamaktadır (Roselló-

Soto ve diğ., 2015a).). Ultrason destekli yağ ekstraksiyon yönteminin temel prensibi, ultrases dalgalarının etkisiyle ortaya çıkan akustik kaviteasyonlar ve hidrostatik basınç nedeniyle kütle transferini kuvvetlendirip daha fazla miktarda çözücü transferine imkan tanıyarak ekstraksiyon etkinliğinin ve veriminin artırılmasına dayanmaktadır (Sevindik ve Selli, 2017; Tontul, Mutlu, Koç ve Erbaş, 2018).Ultrason yöntemiyle ekstraksiyon uygulaması klasik ekstraksiyon yöntemlerine göre daha ekonomik olup, daha çevreci bir yöntemdir. Ayrıca kullanılan solvent miktarının azaltılması, daha yüksek ekstraksiyon verimi, ekstraksiyon süresinin kısaltılması ve enerji tüketiminin azaltılması gibi bazı avantajlara da sahiptir (Gulzar, Rajua, Nagarajaraob ve Benjakul, 2020; Abdelkebir ve diğ., 2019; Gulzar ve Benjakul, 2018; Koubaa ve diğ., 2015; Roselló-Sotove diğ., 2015b)

Literatür verileri incelendiğinde ultrason destekli ekstraksiyonda ultrason gücü, süresi ve sıcaklık parametrelerinin papaya

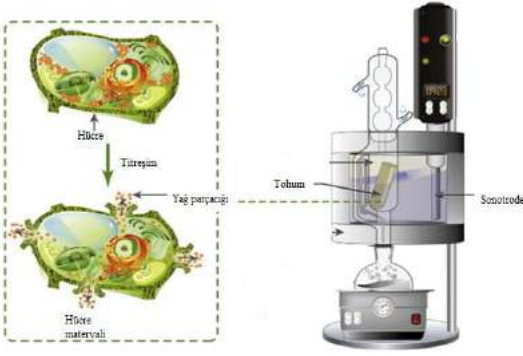
çekirdeği (Samaram, Mirhosseini, Tan ve Ghazali,, 2013; Samaram ve diğ., 2015), karpuz çekirdeği (Bimacr ve diğ. 2012), nar çekirdeği (Barizao, Boeing, Martins, Visentainer ve Almeida,2015) ve kapok çekirdeği (Senrayan ve Venkatachalam, 2020) gibi farklı bitkisel materyallerden yağ ekstraksiyonu için farklı ekstraksiyon yöntemlerinin kıyaslandığı çalışmalarda ultrasonik ekstraksiyon yönteminin hem zaman bakımından hem de elde edilen yağların ekstraksiyon veriminin daha iyi olduğunu belirtmişlerdir. Aynı zamanda, soya fasulyesi (Li, Pordesimo ve Weiss, 2004) ve keten tohumu (Zhang ve diğ., 2008) gibi farklı materyallerde ultrason destekli ekstraksiyonların genel olarak yağ verimi arttırırken, yağ asidi kompozisyonunu ise çok etkilenmediği görülmektedir. Yağlı tohumlardan yağ ekstraksiyonunda kullanılan ultrason uygulamaları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Yağlı tohumlardan bileşik ekstraksiyonunda ultrason uygulamaları

Matris	Ekstrakt	Proses ekipmanı	Deneysel parametreler	Referans
Ayçiçek, kolza, soya fasülyesi	Yağ	Ultrason & Soxhelet	m = 10 g, V = 100 mL, solvent = hekzan, ultrason süresi = 10 s	(Luque-Garcia ve Luque de Castro, 2004)
Badem	Yağ	Ultrasonik banyo (40 kHz, 150 W)	Solvent/örnek oranı = 10–20 (mg/L), solvent = hekzan, süre = 40–60 dakika, sıcaklık = 40–60 °C	(Zhang ve diğ., 2009)
Keten tohumu	Yağ	Ultrason probu (20 kHz, 250 W)	P = 50 W, oran = 6/1 (V/w), solvent = hekzan, V = 100 mL, süre = 30 dakika, sıcaklık = 30 °C	(Zhang ve diğ., 2008)
Papaya tohumu	Yağ, antioksidan	Ultrasonik banyo (40 kHz, 700 W)	P = 235–700 W oranı = 6/1–10/1 (V/w), solvent = hekzan, süre = 5–30 dakika, sıcaklık = 25–50 °C	(Samaram, Mirhosseini, Tan ve Ghazali 2014; Samaram ve diğ., 2015)
Pistachia içi	Yağ	Ultrason probu (30 kHz, 100 W, diameter = 10 mm)	Genlik = 0, 25, 50%, titreşim = 10 s çalışıp, 5 s kapalı, oran = 1/4 (w/V), solvent = hekzan, sıcaklık = 30, 40, 50 °C	(Hashemi,Michiels,Yousefab ad ve Hosseini, 2015)
Soya fasülyesi	Yağ	Ultrasonik banyo	I = 47.6 W/cm ² , solvent=hekzan/isopropanol (3/2)	(Li, Pordesimo ve Weiss, 2004)
Fıstık	Yağ	Ultrason probu	UP: 300 W UF: 20, 28, 40 and 60 kHz	(Zhang ve diğ., 2017; Yao,Pan ve Liu 2019)
Kolza	Yağ	Ultrason probu	süre (dk): 60, P : 500 W oranı = 1/4 (w/v)	(Wei ve diğ., 2008)

Ultrason yöntemi, laboratuvar ölçekli Clevenger tipi bir sistem kullanılarak çok çeşitli bitki ve baharatlardan hidrodistilasyonla geleneksel olarak ekstrakte edilen aroma moleküllerinin geri kazanılmasında da başarıyla kullanılabilir (Lebovka, Vorobiev ve Chemat, 2016). Yüksek enerjili ultrasonik uygulamanın, organik bileşiklerin bitki ve tohumdan ekstraksiyonunu olumlu yönde etkilediği saptanmıştır (Ercan ve Sosyal, 2011). Örneğin, kimyon tohumlarından aroma maddelerinin ekstraksiyonunda ultrason destekli Clevenger sisteminin geleneksel Clevenger sistemine kıyasla karvon ve limonen kazanımları daha yüksektir (Assami, Pingret, Chemat, Meklatia ve Chemat, 2012).

Luque-Garcia ve Luque de Castro (2004), konveksiyonel soxhelet uygulamasını ultrason ile birleştirerek ayçiçek, soya fasülyesi ve kolza tohumları yağ ekstraksiyonunu gerçekleştirmişlerdir (Şekil 1). Ultrasonun örnek kartuşuna uygulanmasının, yağın kantitatif ekstraksiyonu için gerekli sokselet çevrim sayısını azalttığını, böylece ekstraksiyon için gerekli olan süreyi en az yarıya indirdiğini bildirmişlerdir. Diğer çalışmalara benzer şekilde yağ asidi kompozisyonunun da değişmediğini belirtmişlerdir.



Şekil 1. Sokselet aparatı kullanılarak tohum yağlarını çıkarmak için laboratuvar ölçeğinde uygulanan bir ultrason destekli ekstraksiyon (Luque-Garcia ve Luque de Castro, 2004; Koubaa ve diğ., 2016)

Samaram, Mirhosseini, Tan ve Ghazali (2014) papaya çekirdeği yağını ultrason, solvent ekstraksiyonu ve sokselet yöntemi ile ekstrakte ettikleri çalışmada, ultrason uygulaması ile elde edilen yağların en yüksek stabiliteye sahip olduğunu bildirmişlerdir. Aynı çalışmada, farklı ekstraksiyon yöntemlerinin uygunluk derecesini önemli düzeyde etkilemediği saptanırken, ultrason destekli ekstraksiyonla elde edilen örnekte düşük miktarda sabunlaşmayan madde tespit edilmiştir.

5. Sonuç

Ultrason uygulaması, sürdürülebilir “yeşil kimya” anlayışına uygun ve yüksek kalitede ekstraksiyon hedefine ulaşmada önemli bir teknolojidir. Ultrason kullanılarak yapılan ekstraksiyon daha kısa sürede yüksek tekrarlanabilirlik ile yapılabilmekte, daha düşük miktarlarda çözen kullanımı ve daha yüksek saflıkta son ürün eldesi sağlamaktadır. Ultrason tekniği kullanılarak çeşitli matrislerden (hayvansal dokular, mikroalg, maya, gıda ve bitki materyalleri) aroma, pigment, antioksidan, organik ve mineral bileşikleri verimli şekilde ekstrakte, analiz ve formüle edilmektedir. Yenilebilir yağların ultrasonik ekstraksiyonu, yağları tohumlardan, çekirdeklerden ve meyvelerden çıkarmak için üstün bir yöntemdir. Termal olmayan bir ekstraksiyon tekniği olarak geleneksel yöntemlere kıyasla ultrason destekli ekstraksiyon ile yemeklik yağ sanayinde kaliteli yağ eldesinde yağ verimini yüksek seviyelere çıkararak azaltılmış işleme sağlamaktadır. Dolayısı ile belirtilen avantajları ile ultrason uygulaması yağ üretim teknolojisinde yeterli düzeyde verim elde edebilmek için etkili bir yöntem olarak değerlendirilmektedir.

Kaynakça

1. Abdelkebira, R., Alcántarac, C., Falcód, I., Sánchez, G., Garcia-Perez, J.V., Neffatia, M., Lorenz, J.M., Francisco J. Barbab, F.J., & Colladoc, M.C., (2019). Effect of ultrasound technology combined with binary mixtures of ethanol and water on antibacterial and antiviral activities of *Erodium glaucophyllum* extracts. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 52, 189–196. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.12.009>.
2. Akdeniz, V., & Akalın, A.S., (2019). New approach for yoghurt and ice cream production: High-intensity ultrasound. *Trends in Food Science & Technology*, 86, 392–398. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.046>.

3. Alarcon-Rojo, A.D., Carrillo-Lopez, L.M., Reyes-Villagrana, R., Huerta-Jimenez, M., & Garcia Galicia, I.A., (2019). Ultrasound and meat quality: A review. *Ultrasonics - Sonochemistry*, 55, 369–382. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.09.016>
4. Arroyo, C., Cebrián, G., Pagán, R., & Condón, S., (2011). Inactivation of *Cronobacter sakazakii* by ultrasonic waves under pressure in buffer and foods. *International Journal of Food Microbiology*, 144 (3), 446–454. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2010.10.033>.
5. Arslan Tontul, S., Mutlu, C., Koç, A., & Erbaş, M. (2018). Çiya tohumundan ultrason destekli yağ ekstraksiyonunun optimizasyonu. *GIDA*, 43 (3), 393–402. doi: 10.15237
6. Ashokkumar, M., (2015). Applications of ultrasound in food and bioprocessing. *Ultrasonics Sonochemistry*, 25, 17–23. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2014.08.012>.
7. Assami, K., Pingret, D., Chemat, S., Meklatia, B.Y., & Chemat, F., (2012). Ultrasound induced intensification and selective extraction of essential oil from *Carum carvi* L. seeds. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 62, 99–105. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2012.09.003>
8. Ayyildiz, O., Sanik, S., & Ileri, B., (2011). Effect of ultrasonic pretreatment on chlorine dioxide disinfection efficiency. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18(2), 683–688. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2010.08.008>.
9. Awad, T.S., Moharram, H.A., Shaltout, O.E., Asker, D., & Youssef, M.M., (2012). Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review. *Food Research International*, 48, 410–427. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.05.004>.
10. Barizao, E.O., Boeing, J.S., Martins, A.C., Visentainer, J.V., & Almeida, V.C. (2015). Application of Response Surface Methodology for the Optimization of Ultrasound-Assisted Extraction of Pomegranate (*Punica granatum* L.) Seed Oil. *Food Anal Method*, 8(9), 2392–2400. doi: 10.1007/s12161-015-0135-5.
11. Bermúdez-Aguirre, D., Mobbs, T., & Barbosa-Cánovas, G.V., (2011) *Ultrasound Applications in Food Processing, in Ultrasound Technologies for Food and Bioprocessing*, H. Feng, G. Barbosa-Canovas, and J. Weiss, Editors., Springer New York: New York, NY. p. 65–105.
12. Bimacr, M., Rahman, R.A., Taip, F.S., Adzahan, N.M., Sarker, M.Z.I., & Ganjloo, A. (2012). Optimization of Ultrasound-Assisted Extraction of Crude Oil from Winter Melon (*Benincasa hispida*) Seed Using Response Surface Methodology and Evaluation of Its Antioxidant Activity, Total Phenolic Content and Fatty Acid Composition. *Molecule*, 17(10), 11748–11762. doi: 10.3390/molecules171011748.
13. Boateng, E.F., & Nasiru, M.M., (2019). Applications of Ultrasound in Meat Processing Technology: A Review. *Food Science and Technology*, 7(2), 11–15. doi: 10.13189/fst.2019.070201
14. Boistier-Marquis, E., Lagsir-Oulahal, N., & Callard, M., (1999). Applications des ultrasons de puissances en industries alimentaires. *Industries Agricoles et Alimentaires*, 116, 23–31.
15. Brilhante de São José, J.F., José de Andrade, N., Ramos, A.M., Dantas Vanetti, M.C., Stringheta, P.C., & Paes Chaves, J.B., (2014). Decontamination by ultrasound application in fresh fruits and vegetables. *Food Control*, 45, 36–50.

- doi: 10.1016/j.foodcont.2014.04.015.
16. Capelo-Martínez, J.-L., (2009). Ultrasound in chemistry: analytical applications. John Wiley & Sons, (171 pages).
 17. Caraveo, O., Alarcon-Rojo, A.D., Renteria, A., Santellano, E., & Paniwnyk, L., (2015). Physicochemical and microbiological characteristics of beef treated with high intensity ultrasound and stored at 4 °C, Journal Science. Food and Agriculture, 95, 2487–2493, <https://doi.org/10.1002/jsfa.6979>.
 18. Carrín, M.E. & Crapiste G.H. (2008). Mathematical modeling of vegetable oil–solvent extraction in a multistage horizontal extractor. Journal of Food Engineering, 85(3), 418–425. <https://doi.org/10.1016/j.foodeng.2007.08.003>
 19. Chang, H.-J., Wang, Q., Tang, C.-H., & Zhou, G.-H., (2015). Effects of ultrasound treatment on connective tissue collagen and meat quality of beef semitendinosus muscle, Journal Food Quality, 38, 256–267. <https://doi.org/10.1111/jfq.12141>
 20. Chemat, F., Huma, Z., & Khan, M. K., (2011). Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. Ultrasonics Sonochemistry, 18(4), 813–835. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2010.11.023>
 21. Chemat, F., Rombaut, N., Sicaire, A.-G., Meullemiestre, A., Fabiano-Tixier, A.-S., & Abert-Vian, M., (2017). Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review. Ultrasonics Sonochemistry, 34, 540–560. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.06.035>.
 22. Chen, Z., & Zhu, C., (2011). Combined effects of aqueous chlorine dioxide and ultrasonic treatments on postharvest storage quality of plum fruit (*Prunus salicina* L.). Postharvest Biology and Technology, 61(2-3), 117–123. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.03.006>.
 23. de Lima Alves, L., Stefanello da Silva, M., Martins Flores, D.R., Rodrigues Athayde, D., Roggia Ruviano, A., da Silva Brum, D., Fagundes Batista, V.S., de Oliveira Mello, R., Ragagnin de Menezes, C., Bastianello Campagnol, P.C., Wagner, R., Smaniotto Barin, J., & Cichoski A.J., (2018). Effect of ultrasound on the physicochemical and microbiological characteristics of Italian salami. Food Research International, 106, 363–373. doi: 10.1016/j.foodres.2017.12.074.
 24. Eikani, M.H., Golmohammad, F., & Homami, S.S., (2012). Extraction of pomegranate (*Punica granatum* L.) seed oil using superheated hexane. Food and Bioprocess Processing, 90(1), 32–36. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2011.01.002>
 25. Ercan, S.S., & Soysal, C., (2011). Effect of ultrasound and temperature on tomato peroxidase. Ultrasonics Sonochemistry, 18(2), 686–695. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2010.09.014>.
 26. Ercan, S. & Soysal, Ç., (2013). Use of ultrasound in food preservation. Natural Science, 5, 5–13. doi: 10.4236/ns.2013.58A2002
 27. Fan, D., Huang, L., Li, B., Huang, J., Zhao, J., Yan, B., Zhou, W., Zhang, W., & Zhang, H., (2017). Acoustic intensity in ultrasound field and ultrasound-assisted gelling of surimi, LWT – Food Science Technology, 75, 497–504. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.08.002>.
 28. Feng, H., & Yang, W., (2005). Power ultrasound. In Y. H. Hui (Eds). Handbook of food science, technology and engineering. New York: CRC Press; 1st Edition.
 29. Flannigan, D.J., & Suslick, K.S., (2010). Inertially confined plasma in an imploding bubble. Nature Physics, 6(8), 598. doi: 10.1038/NPHYS1701
 30. Gamboa-Santos, J., Montilla, A., Cárcel, J.A., Villamiel, M., & García-Pérez, J.V., (2014). Air-borne ultrasound application in the convective drying of strawberry. Journal of Food Engineering, 2014, 128 (5): 132–139. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2013.12.021.
 31. Gonzalez-Gonzalez, L., Luna-Rodriguez, L., Carrillo-Lopez, L.M., Alarcon-Rojo, A.D., Garcia-Galicia, I., & Reyes-Villagrana, R., (2017). Ultrasound as an alternative to conventional marination: acceptability and mass transfer. Journal of Food Quality, 2, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2017/8675720>.
 32. Gharibzahedi, S.M.T., & Smith, B., (2020). The functional modification of legume proteins by ultrasonication: A review. Trends in Food Science & Technology, 98, 107–116. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.02.002>.
 33. Gulzar, S., & Benjakul, S., (2018). Ultrasound waves increase the yield and carotenoid content of lipid extracted from cephalothorax of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). European Journal of Lipid Science and Technology, 120(5), 1–11. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201700495>.
 34. Gulzar, S., Rajua, N., Nagarajaraob, R.C., & Benjakul, S., (2020). Oil and pigments from shrimp processing by-products: Extraction, composition, bioactivities and its application- A review. Trends in Food Science & Technology, 100, 307–319. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.04.005>.
 35. Hashemi, S.M.B., Michiels, J., Yousefabad, S.H.A., & Hosseini, M., (2015). Kolkhoung (*Pistacia khinjuk*) kernel oil quality is affected by different parameters in pulsed ultrasound-assisted solvent extraction. Industrial Crops and Products, 70, 28–33. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.03.023>
 36. Hongyu, W., Hulbert, G.J., & Mount, J.R., (2000). Effects of ultrasound on milk homogenization and fermentation with yogurt starter, Innovative Food Sci. Emerg. Technology, 1, 211–218. doi: 10.1016/S1466-8564(00)00020-5.
 37. Hu, H., Cheung, I. W., Pan, S., & Li-Chan, E. C. (2015). Effect of high intensity ultrasound on physicochemical and functional properties of aggregated soybean β -conglycinin and glycinin. Food Hydrocolloids, 45, 102–110. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.11.004>.
 38. Huang, G., Chen, S., Dai, C., Sun, L., Sun, W., Tang, Y., Xiong, F., He, R., & Ma, H., (2017). Effects of ultrasound on microbial growth and enzyme activity. Ultrasonics Sonochemistry, 37, 144–149. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.12.018>.
 39. Kentish, S. & Ashokkumar, M., (2011). The Physical and Chemical Effects of Ultrasound, in Ultrasound Technologies for Food and Bioprocessing, H. Feng, G. Barbosa-Canovas, and J. Weiss, Editors., Springer New York: New York, NY. p. 1–12.
 40. Koubaa, M., Roselló-Soto, E., Šic Žlabur, J., Režek Jambrak, A., Brnčić, M., Grimi, N., Boussetta, N., & Barba, F. J. (2015). Current and new insights in the sustainable and green recovery of nutritionally valuable compounds from Stevia rebaudiana Bertoni. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 63, 6835–6846.

- <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b01994>
41. Koubaa, M., Mhemdi, H., Barba, F.J., Roohinejad, S., Greiner, R., & Vorobiev, E., (2016). Oilseed treatment by ultrasounds and microwaves to improve oil yield and quality: An overview. *Food Research International*, 85, 59–66. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.04.007>
 42. Lebovka, N., Vorobiev, E., & Chemat, F., (2016). Enhancing extraction processes in the food industry, 1st Edition, (570 pages). CRC Press.
 43. Leong, T., Ashokkumar, M., & Kentish, S., (2011). The fundamentals of power ultrasound-A review. *Acoustics Australia*, 39 (2), 54-63. August (2011) No. 2 - 4329.
 44. Li, H., Pordesimo, L., & Weiss, J., (2004). High intensity ultrasound-assisted extraction of oil from soybeans. *Food Research International*, 37(7), 731-738
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2004.02.016>.
 45. Liu, W., Fu, Y-J., Zu, Y-G., Tong, M-H., Wu, N., Liu, X-L., & Zang, S., (2009a). Supercritical carbon dioxide extraction of seed oil from *Opuntia dillenii* Haw. and its antioxidant activity. *Food Chemistry*, 114(1),334-339.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.049>.
 46. Liu, S., Yang, F., Zhang, C., Ji, H., Hong, P., & Deng, C., (2009b). Optimization of process parameters for supercritical carbon dioxide extraction of *Passiflora* seed oil by response surface methodology. *The Journal of Supercritical Fluids*, 48(1) 9-14.
<https://doi.org/10.1016/j.supflu.2008.09.013>
 47. Liu, G., Xu, X., Hao, Q., & Gao, Y., (2009c). Supercritical CO₂ extraction optimization of pomegranate (*Punica granatum* L.) seed oil using response surface methodology. *LWT - Food Science and Technology*, 42(9), 1491-1495.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.04.011>
 48. Liu, Z., Juliano, P., Williams, R., Niere, J., & Augustin, M., (2014). Ultrasound effects on the assembly of casein micelles in reconstituted skim milk. *Journal of Dairy Research*, 81(2), 146-155. doi: 10.1017/S0022029913000721
 49. Lopez, P., Sala, F. J., De La Fuente, J. L., Condon, S., Raso, J., & Burgos, J. (1994). Inactivation of peroxidase, lipoygenase, and polyphenol oxidase by manothermosonication. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42, 252-256.
<https://doi.org/10.1021/jf00038a005>.
 50. Luengo, E., Condón-Abanto, S., Condón-, S., Álvarez, I., & Raso, J., (2014). Improving the extraction of carotenoids from tomato waste by application of ultrasound under pressure. *Separation and Purification Technology*, 136,130-136.
<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2014.09.008>.
 51. Luque-García, J.L., & Luque de Castro, M.D., (2004). Ultrasound-assisted Soxhlet extraction: an expeditive approach for solid sample treatment. Application to the extraction of total fat from oleaginous seeds. *Journal Chromatography A*, 1034 (1-2),237-42.
<https://doi.org/10.1016/j.chroma.2004.02.020>
 52. Madhu, B., Sai Srinivas, M., Srinivas, G., & Jain, S.K., (2019). Ultrasonic Technology and Its Applications in Quality Control, Processing and Preservation of Food: A Review. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 32(5),1-11. doi: 10.9734/CJAST/2019/46909.
 53. Mason, T. & Lorimer, J., (2002). *Applied Sonochemistry: Uses of Power Ultrasound in Chemistry*.
 54. Mason TJ, Paniwnyk, L., & Lorimer, J. P., (1996). The uses of ultrasound in food technology. *Ultrasonics Sonochemistry*, 3,253- 260. [https://doi.org/10.1016/S1350-4177\(96\)00034-X](https://doi.org/10.1016/S1350-4177(96)00034-X).
 55. Mawson, R., Gamage, M., Terefe, N. S., & Knoerzer, K. (2011). Ultrasound in enzyme activation and inactivation. In H. Feng, G. V. Barbosa-Cánovas, & J. Weiss (Eds.), *Ultrasound technologies for food and bioprocessing* (pp. 369-404). New York: Springer.
 56. Meireles, M.A.A., *Extracting bioactive compounds for food products: theory and applications*. 2008: CRC press.
 57. Mitra, P., Ramaswamy, H.S., & Chang, K.S. (2009). Pumpkin (*Cucurbita maxima*) seed oil extraction using supercritical carbon dioxide and physicochemical properties of the oil. *Journal of Food Engineering*, 95(1), 208-213. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.04.033>
 58. Mohammadi, V., Ghasemi-Varnamkhasti, M., Ebrahimi, R., & Abbasvali, M., (2014). Ultrasonic techniques for the milk production industry. *Measurement*, 58, 93-102.
<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2014.08.022>
 59. Nithila, S.D, Anandkumar, B., Vanithakumari, S.C., George, R.P., Mudali, U.K., & Dayal, R.K., (2014). Studies to control biofilm formation by coupling ultrasonication of natural waters and anodization of titanium. *Ultrasonics Sonochemistry*, 21, 189–199. doi: 10.1016/j.ultsonch.2013.06.010.
 60. Nguyen, T.M.P., Lee, Y.K., & Zhou, W., (2009). Stimulating fermentative activities of bifidobacteria in milk by high intensity ultrasound, *International Dairy Journal* 19 (6-7), 410–416. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2009.02.004>
 61. Palma, M., Barbero, G.F., Pineiro, Z., Liázid, A., Barroso, C.G., Rostagno, M.A., Prado J.M., & Meireles, M.A.A., (2013). Extraction of natural products: Principles and fundamental aspects. *Natural product extraction: principles and applications*, RSC Publishing, Mauricio A Rostagno, Juliana M Prado, Editors(s.58)
 62. Ojha, K. S., Mason, T. J., O'Donnell, C. P., Kerry, J. P., & Tiwari, B. K. (2017). Ultrasound technology for food fermentation applications. *Ultrasonics Sonochemistry*, 34, 410–417. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.06.001>.
 63. Pétrier, C., Gondrexon, N., & Boldo, P., (2008). Ultrasons et sonochimie. *techniques de l'ingénieur*. AF, 6,310.
 64. Rawson, A., Tiwari, B. K., Tuohy, M. G., O'Donnell, C. P., & Brunton, N. (2011). Effect of ultrasound and blanching pretreatments on polyacetylene and carotenoid content of hot air and freeze dried carrots discs. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18(5), 1172-1179. doi: 10.1016/j.ultsonch.2011.03.009.
 65. Rui, H., Zhang, L., Li, Z., & Pan, Y., (2009). Extraction and characteristics of seed kernel oil from white pitaya. *Journal of Food Engineering*, 93(4),482-486.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.02.016>
 66. Roselló-Soto, E., Koubaa, M., Moubarik, A., Lopes, R. P., Saraiva, J. A., Boussetta, N., Girimi, N., & Barba, F. J. (2015a). Emerging opportunities for the effective valorization of wastes and byproducts generated during olive oil production process: Non-conventional methods for the recovery of high-added value compounds. *Trends in Food Science & Technology*, 45(2), 296–310.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.07.003>.
 67. Roselló-Soto, E., Galanakis, C. M., Brnčić, M., Orlien, V., Trujillo, F. J., Mawson, R., Knoerzer, K., Tiwari, B.K., & Barba, F.J., (2015b). Clean recovery of antioxidant

- compounds from plant foods, by-products and algae assisted by ultrasounds processing. Modeling approaches to optimize processing conditions. *Trends in Food Science & Technology*, 42(2), 134–149. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.01.002>.
68. Sagong, H. G., Lee, S.-Y., Chang, P. S., Heu, S., Ryu, S., Choi, Y. J., & Kang, D.-H., (2011). Combined effect of ultrasound and organic acids to reduce *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella typhimurium*, and *Listeria monocytogenes* on organic fresh lettuce. *International Journal of Food Microbiology*, 145(1), 287–292. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2011.01.010>.
69. Sagong, H. G., Cheon, H.-L., Lee, S. Y., Park, K. H., Chung, M.S., Choi, Y. J., & Kang, D.-H., (2013). Combined effects of ultrasound and surfactants to reduce *Bacillus cereus* spores on lettuce and carrots. *International Journal of Food Microbiology*, 160(3), 367–372. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2012.10.014>.
70. Samaram, S., Mirhosseini, H., Tan, C.P., & Ghazali, H.M. (2013). Ultrasound-Assisted Extraction (UAE) and Solvent Extraction of Papaya Seed Oil: Yield, Fatty Acid Composition and Triacylglycerol Profile. *Molecules*, 18(10), 12474–12487. doi: 10.3390/molecules181012474
71. Samaram, S., Mirhosseini, H., Tan, C.P., & Ghazali, H.M., (2014). Ultrasound-assisted extraction and solvent extraction of papaya seed oil: Crystallization and thermal behavior, saturation degree, color and oxidative stability. *Industrial Crops and Products*, 52, 702–708. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.11.047>.
72. Samaram, S., Mirhosseini, H., Tan, C.-P., Ghazalib, H.-M., Bordbar, S., & Serjouiea, A., (2015). Optimisation of ultrasound-assisted extraction of oil from papaya seed by response surface methodology: Oil recovery, radical scavenging antioxidant activity, and oxidation stability. *Food Chemistry*, 172, 7–17. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.08.068>.
73. Senrayan, J., & Venkatachalam, S., (2020). Ultrasonic acoustic-cavitation as a novel and emerging energy efficient technique for oil extraction from kapok seeds. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 62, 102347. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102347>.
74. Seymour, I.J., Burfoot, D., Smith, R.L., Cox, L.A., & Lockwood, A., (2002). Ultrasound decontamination of minimally processed fruits and vegetables. *International Journal of Food Science and Technology*, 37(5), 547–557. doi: 10.1046/j.1365-2621.2002.00613.x
75. Sevindik, O., & Selli, S., (2017). Üzüm çekirdek yağı eldesinde kullanılan ekstraksiyon yöntemleri. *Gıda*, 42(1), 95–103. doi: 10.15237/gida.GD16052.
76. Stanisavljević, I.T., Lazić, M.L., & Veljković, V.B., (2007). Ultrasonic extraction of oil from tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) seeds. *Ultrasonics Sonochemistry*, 14(5), 646–652. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2006.10.003>
77. Serrato, A.G., (1981). Extraction of oil from soybeans. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 58(3), 157–159.
78. Tao, Y., Zhang, J., Jiang, S., Xu, Y., & Ye, M., (2018). Contacting ultrasound enhanced hot-air convective drying of garlic slices: Mass transfer modeling and quality evaluation. *Journal of Food Engineering*, 2018, 235(10), 79–88. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.04.028>
79. Téllez-Morales, J.A., Hernández-Santo, B., & Rodríguez-Miranda, J., (2020). Effect of ultrasound on the techno-functional properties of food components/ingredients: A review. *Ultrasonics – Sonochemistry*, 61, 104787. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104787>
80. Tervo, J.T., Mettin, R., & Lauterborn, W., (2006). Bubble cluster dynamics in acoustic cavitation. *Acustica united with Acustica*, 92, 178–180. <https://doi.org/10.1121/1.4802906>.
81. Wang, C.Y., & Chen, B.H., (2006). Tomato pulp as source for the production of lycopene powder containing high proportion of cis-isomers. *European Food Research and Technology*, 222(3), 347–353. doi: 10.1007/s00217-005-0058-2.
82. Wang, A., Kang, D., Zhang, W., Zhang, C., Zou, Y., & Zhou, G., (2018). Changes in calpain activity, protein degradation and microstructure of beef *M. semitendinosus* by the application of ultrasound. *Food Chemistry*, 245, 724–730. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.12.003>.
83. Wei, F., Gao, G. -Z., Wang, X. -F., Dong, X. -Y., Li, P. -P., Hua, W., & Chen, H. (2008). Quantitative determination of oil content in small quantity of oilseed rape by ultrasound-assisted extraction combined with gas chromatography. *Ultrasonics Sonochemistry*, 15(6), 938–942. doi: 10.1016/j.ultsonch.2008.04.003
84. Wu, J., Gamage, T.V., Vilku, K.S., Simons, L.K., & Mawson, R., (2008). Effect of thermosonication on quality improvement of tomato juice. *Inno Food Sci Emerg Tec*, 9, 186–195. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2007.07.007>.
85. Xue, S., Xu, X., Shan, H., Wang, H., Yang, J., & Zhou, G., (2018). Effects of high-intensity ultrasound, high pressure processing, and high-pressure homogenization on the physicochemical and functional properties of myofibrillar proteins. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 45, 354–360. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.12.007>.
86. Zhang, Z.-S., Wang, J.-T., Li, D., Jiao, S.-S., Chen, X.-D., & Mao, Z.-H., (2008). Ultrasound-assisted extraction of oil from flaxseed. *Separation and Purification Technology*, 62(1), 192–198. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2008.01.014>
87. Zhang, Q.-A., Zhang, Z.-Q., Yue, X.-F., Fan, X.-H., Li, T., & Chen, T.-L., (2009). Response surface optimization of ultrasound-assisted oil extraction from autoclaved almond powder. *Food Chemistry*, 116(2), 513–518. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.02.071>.
88. Zhang, L., Zhou, C., Wang, B., Yagoub, A.E.A., Ma, H., Zhang, X., & Wu, M., (2017). Study of ultrasonic cavitation during extraction of the peanut oil at varying frequencies. *Ultrasonics - Sonochemistry*, 37(7), 106–113. doi: 10.1016/j.ultsonch.2016.12.034.
89. Zhang, Z., Regenstein, J. M., Zhou, P., & Yang, Y. (2017). Effects of high intensity ultrasound modification on physicochemical property and water in myofibrillar protein gel. *Ultrasonics Sonochemistry*, 34, 960–967. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.08.008>.
90. Yang, Z., Cao, S., Cai, Y., & Zheng, Y., (2011). Combination of salicylic acid and ultrasound to control postharvest blue mould caused by *Penicillium expansum* in peach fruit. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 12(3), 310–314. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2011.04.010>.

91. Yao, Y., Pan, Y., & Liu, S., (2019). Power Ultrasound and Its Applications: A State-of-the-art Review. *Ultrasonics Sonochemistry*.
<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104722>.
92. Yusaf, T., & Al-Juboori, R.A., (2014). Alternative methods of microorganism disruption for agricultural applications. *Applied Energy*, 114, 909–923.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.08.085>



TF-IDF ve Doc2Vec Tabanlı Türkçe Metin Sınıflandırma Sisteminin Başarım Değerinin Ardışık Kelime Grubu Tespiti ile Arttırılması

Doğancan Kınık¹, Aysun Güran^{2*}

¹ Doğuş Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0207-7194), 20172105001@dogus.edu.tr

^{2*} Doğuş Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7066-0635), adogrusoz@dogus.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 11 Eylül 2020 ve Kabul Tarihi 18 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.774144)

ATIF/REFERENCE: Kınık, D., Güran, A., TF-IDF ve Doc2Vec Tabanlı Türkçe Metin Sınıflandırma Sisteminin Başarım Değerinin Ardışık Kelime Grubu Tespiti ile Arttırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 323-332.

Öz

TF-IDF terim ağırlıklandırma ölçümü kelimelerin metinler içinde geçme sıklığı bilgisine dayalıdır. Bu ölçüm kelimeler arasındaki anlamsal ilişkiyi barındırmamaktadır. Yapay sinir ağlarına dayalı olan Doc2Vec metodu kelimeler ve kelimeleri içeren dokümanlar arasındaki anlamsal ilişkiyi barındırmakta ve yönetilebilir boyutlu doküman vektörlerinin elde edilmesini sağlamaktadır. Ardışık kelime grubu tespitinin metin madenciliği üzerindeki olumlu etkileri literatürde sunulan pek çok çalışma tarafından belirtilmiştir. Bu çalışmada, hem geleneksel TF-IDF terim ağırlıklandırma ölçümünün, hem de YSA'lara dayalı bir yöntem olan Doc2Vec yönteminin kullanımı ile vektörleştirilen dokümanlar üzerinde temel makine öğrenmesi sınıflandırıcılarının ve topluluk öğrenmesi algoritmalarının başarım değerleri kıyaslanmıştır. Sınıflandırıcılar farklı uzunluklarda haber dokümanlarını içeren 4 farklı Türkçe veri kümesi üzerinde uygulanmıştır. Çalışmamızın literatüre olan katkısı, sınıflandırma aşamasına geçilmeden önce dokümanların içindeki ardışık kelime grubu tespitinin gerçekleştirilmesi ve dokümanların bu kelime öbeklerinin tek bir kelime gibi ele alınmasıyla vektörleştirildikten sonra, uygulanan sınıflandırıcıların başarım değerlerinin arttığına gösterilmesi olmuştur. Ardışık kelime grubu tespiti için kelimelerin birlikte geçme sıklığı prensibine dayalı olan bir prensip dışında, Türkçe Vikipedi'nin kelime bağlantıları da kullanılmış ve dokümanlar içinde az sayıda geçmesine rağmen anlamlı olan ardışık kelime öbeklerinin tespiti gerçekleştirilebilmiştir. Ardışık kelime grubu tespiti ile sınıflandırma deneylerinin hemen hemen tümünde daha yüksek başarım değerleri elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: TF-IDF, Doc2Vec, Ardışık kelime grubu tespiti, Topluluk öğrenmesi, Metin sınıflama

Enhancing the Performance of TF-IDF and Doc2Vec based Turkish Text Categorization System with Phrase Modeling

Abstract

TF-IDF term weighting measure is based on frequency of words in texts. This measure doesn't capture the semantic relationship between words. Doc2Vec which is based on artificial neural networks can capture the semantic relations between the words and it enables to yield document vectors of a more manageable size. Consecutive word detection has been reported to have important effects on text mining by many studies. Consecutive word phrases are important for expressing the semantic integrity within the texts. In this study, the performances of traditional machine learning classifiers and ensemble learning algorithms are compared on four different Turkish datasets which are vectorized with both traditional TF-IDF term weighting measurement and Doc2Vec method. The classifiers have been applied on 4 different Turkish datasets containing news documents of different lengths. The contributions of our study are "to apply consecutive word detection process to the documents before the classification phase" and "to show that the performances of the applied classifiers' results have been increased after the consecutive word detection phase is applied". In addition to the approach based on frequency of words for consecutive word detection, we also use the url links of Turkish Wikipedia. By using consecutive word detection, higher performance values are presented in almost all classification experiments.

Keywords: TF-IDF, Doc2Vec, Phrase detection, Ensemble learning, Text categorization

¹ Sorumlu Yazar: adogrusoz@dogus.edu.tr

1. Giriş

Metin sınıflandırma serbest formatta yazılmış metinleri önceden belirlenmiş olan kategorilere atama işlemidir. Metin sınıflandırma sayesinde metin kümeleri için kavramsal bir görünüm oluşturulabilir. Günümüzde oldukça önemli uygulamaları vardır. Haberlerin kategorilere göre sınıflandırılması, akademik makalelerin teknik alanlarına göre ayrıştırılması, maillerin sahte ya da gerçek olarak ayrılması gibi pek çok alanda metin sınıflandırılması kullanılmaktadır.

İstatistiksel metin sınıflandırma, insanlar tarafından etiketlenmiş kategorilere dayanarak, metinler üzerinde otomatik sınıflandırma yapabilmek için makine öğrenimi algoritmalarını kullanır. Bu yaklaşımda serbest yazılmış bir metin $x=[x(1),x(2),\dots,x(p)]$ şeklinde bir özellik vektörü ile gösterilir. Burada $x(i),i=1,\dots,p$, genellikle belgedeki kelimeleri, n-gramları, sözdizimsel veya anlamsal olarak etiketlenmiş ifadeleri veya adlandırılmış varlıkları (insan isimleri, şehir adları gibi) ifade eder. Belirli bir dokümanda bu özellikleri ifade etmek için genellikle kelime torbası (bag of word) yöntemi kullanılır. Bu yaklaşım, kelimelerin metin parçaları içindeki geçme sıklığı bilgisine dayalıdır. Kelime frekansı–ters doküman frekansı (term frequency- inverse document frequency- TF-IDF) terim ağırlıklandırma yöntemi en çok kullanılan yöntemlerdendir. Bu kelime ağırlıklandırma modelinde, kelimeler birbirlerinden bağımsız değerlendirilmektedir ve veri kümesindeki doküman sayısı arttığında değerlendirilecek kelime sayısı da artacağından kelimeleri ifade eden vektörlerin boyutu da artmaktadır. Aynı zamanda kelime çantası modeline dayalı sistemler kelimeler arasındaki anlamsal ilişkiyi taşıyamamaktadır. Literatürde, kelime sıklığı tekniklerinin yaratmış olduğu bu olumsuz durumlara karşılık, kelimeler arasındaki anlamsal ilişkileri belirleyebilen, yönetilebilir boyutlu kelime vektörlerinin çıkarılmasını sağlayan, yapay sinir ağlarına (YSA) dayalı kelime gösterim metotları önerilmiştir. Bu metotlardan Word2Vec isimli çalışma 2013 yılında Mikalov ve diğerleri tarafından gerçekleştirilmiştir [1]. Bu metot ile kelimeler komşu kelimeleri ile birlikte değerlendirilmekte ve benzer anlamlı kelimeler birbirlerine yakın olacak şekilde vektörler ile temsil edilebilmektedir. Bu yöntem kelimelerin vektörleştirilme aşamasında Sürekli Kelime Çantası Modeli (Continuous Bag of Words- CBOW) ve Gram Atla Modeli (Skip-gram) isimli iki farklı öğrenme mimarisine dayanmaktadır. CBOW mimarisinde, hedeflenen kelime, bir pencere boyutu içinde ele alınan bir kelimenin sağındaki ve solundaki komşu kelimelere bakılarak tespit edilmektedir. Skip-gram mimarisinde ise CBOW modelinin tersine pencere merkezine oturtulan bir kelime baz alınarak, komşu kelimelere ulaşılmaya çalışılır. CBOW ve Skip-gram mimarileri öğrenme aşamasında hesaplama maliyetini en iyilemek adına Hiyerarşik Softmax (Hierarchical Softmax-HS) veya Olumsuz Örnekleme (Negative Sampling-NS) algoritmalarından birini kullanmaktadır. Bu algoritmalarından HS düşük frekanslı kelimeleri içeren veri kümelerinde, NS ise yüksek frekanslı kelimeleri içeren veri kümelerinde daha iyi başarımlar sergilemektedir. Mikalov ve diğerleri yayınladıkları farklı bir çalışma ile tıpkı kelimeler gibi, dokümanların da yönetilebilir boyutlu vektörler ile ifade edilebileceğini göstermişlerdir [2]. Bu yayınlarında ifade ettikleri yöntem Doc2Vec yöntemidir. Doc2Vec, Word2Vec metodunda kelime vektörlerinin yanına her bir doküman için bir doküman vektörünün eklenmesi prensibi ile çalışmaktadır. Bu çalışma prensibiyle dokümanlar da kelimeler gibi sabit boyutlu vektörler ile gösterilebilmektedir. Doc2Vec ile

hem doküman, hem de kelime vektörleri üretilebilir. Doc2Vec modelinde, Doküman Vektörlerinin Dağıtılmış Bellek Modeli (Distributed Memory Model of Paragraph Vectors- PV-DM) ve Doküman Vektörünün Dağıtılmış Kelime Çantası Modeli (Distributed Bag of Words-Paragraph Vector- PV-DBOW) mimarileri kullanılmaktadır. Bu mimariler Word2Vec'in CBOW ve Skip-gram mimarilerine eşittir.

Bu çalışmada dört farklı haber veri kümesi kullanılarak haberlerin sınıflandırılması işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu sınıflandırma işlemi esnasında bir ön işlem aşaması olarak kelime grubu tespiti işleminin yapılması önerilmiş ve bu önerinin sistem başarımlarını arttırdığı gösterilmiştir. İlk olarak TF-IDF terim ağırlıklandırma ve Doc2Vec kelime gömme teknikleri kullanılarak kelime vektörleri oluşturulmuş ve sınıflandırma işlemi buna göre yapılmıştır. Daha sonra kelime gruplama yöntemi ile tespit edilen anlamlı ardışık kelimelerin (Mustafa Kemal Atatürk, Türkiye Cumhuriyeti vb...) kullanılması ile sınıflandırma işlemi tekrarlanmış ve kelime grubu tespitinin metin sınıflandırma üzerindeki yüksek değerli sonuçları paylaşılmıştır. Ayrıca kelime grubu tespiti sırasında kullanılan frekans tabanlı bir yöntemin dışında, tespit edilemeyen az sayıda geçme ihtimali olan ardışık kelime öbekleri için, TürkçeVikipedi'nin kullanılması da önerilmiştir. Word2Vec, Doc2Vec gibi kelime gömme tekniklerinin metin sınıflandırma üzerinde oldukça yüksek başarımlar ürettiğini gösteren çalışmalar mevcuttur [3][4]. Bu çalışmada dokümanların direkt vektörleştirilmesine olanak tanıyan Doc2Vec yöntemi de kullanılarak sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Doc2Vec yöntemi kullanılırken, aynen TF-IDF yönteminde olduğu gibi, veri kümelerinin öncelikle orijinal halleri kullanılmış; daha sonra kelime gruplama yöntemi ve Vikipedi'den alınan kelime grupları kullanılarak yeni bir veri kümesi oluşturulup, testler bir de bu veri kümeleri üzerinde tekrarlanmıştır. Doc2Vec yöntemi kullanıldığında TF-IDF'e oranla daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca kelime gruplama yöntemi kullanıldığında, TF-IDF ve Doc2Vec ile sayısallaştırılan dokümanların daha yüksek başarımlar ürettiği ile sınıflandırıldığı ortaya konmuştur. Doc2Vec modeli öğrenimindeki yaklaşımlar, PV-DM ve PV-DBOW olarak belirlenmiştir. Bu yaklaşımlar sırasıyla Word2Vec'in CBOW ve Skip-gram isimli öğrenme mimarilerine benzemektedir. Bu çalışmada aynı zamanda bu farklı mimarilerin ürettiği vektörlerin birleşimiyle elde edilen kelime vektörlerinin kullanımı da önerilmiş ve birleşim işlemi ile başarımların daha yüksek sonuçlara ulaşıldığı gösterilmiştir.

Çalışmamız kapsamında sınıflandırma algoritmaları olarak geleneksel makine öğrenmesi yöntemleri olan Naive Bayes, K-En yakın komşuluk (K-nearest Neighborhood-KNN), Lojistik Regresyon (LR), Karar Destek Makineleri (Support Vector machines- SVM), Karar Ağaçları (Decision Trees- DT), Çok Katmanlı Algılayıcılar (Multi-Layer Perceptrons- MLP) gibi bireysel sınıflandırıcılarının yanı sıra topluluk öğrenmesi metotlarından olan Rassal Orman (Random Forest- RF), Bagging (BG), Adaboost (AB) algoritmaları da kullanılmıştır. Ayrıca son olarak en başarılı üç sınıflandırma algoritması Çoğunluk oylaması (Majority Voting) ile birleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır. Sonuç olarak sıklıkla topluluk öğrenmesi metotlarının bireysel sınıflandırıcılara göre daha iyi sonuçlar ürettiği gözlenmiştir.

Çalışmanın geri kalanı şu şekilde ilerlemektedir: Bölüm 2'de literatür taramasına yer verilmiştir. Bölüm 3'te TF-IDF kelime ağırlıklandırma değeri ele alınmış, Bölüm 4'te yapay sinir ağlarına dayalı olan Word2Vec ve Doc2Vec kelime gömme

teknikleri anlatılmıştır. Bölüm 5 ile ardışık kelime grubu tespiti irdelendikten sonra, Bölüm 6 ile çalışmamızda kullanılan veri kümeleri tanıtılmıştır. Bölüm 7’de nihayi sonuçlar yorumlanmış ve çalışmamız Bölüm 8 ile sonlandırılmıştır.

2. Literatür Çalışması

Şahin, G. [5], farklı kategorilere ait Türkçe metinleri Word2Vec algoritmasını kullanarak sınıflandırmışlardır. Çalışmalarında öncelikli olarak tüm metinlerde kelime vektörleri bulunmuş, daha sonra her bir doküman içerdiği kelimelerin vektör ortalaması alınarak temsil edilmeye çalışılmıştır. Sınıflandırma işlemi SVM algoritması kullanarak gerçekleştirilmiş ve Word2Vec algoritmasının TF-IDF baz alınarak yapılan sınıflandırma işlemlerine oranla daha başarılı sonuçlar ürettiği gösterilmiştir.

Çelenli, vd. [6], Türkçe metinler üzerinde Doc2Vec algoritmasını uygulamışlardır. Metinleri KNN ve SVM gibi algoritmalar ile sınıflandırmışlardır. Aynı sınıflandırıcılar üzerinde Doc2Vec ve TF-IDF’ten elde ettikleri sonuçları birbiriyle kıyaslamışlardır.

Sarı ve Özbayoğlu [7], Java programla dili ile geliştirilmiş bir kütüphane olan DeepLearning4J kütüphanesini kullanarak, köşe yazarlarından topladıkları veriler üzerinde Doc2Vec algoritmasının iki versiyonu olan PV-DBOW ve PV-DM mimarilerini uygulamışlar ve toplam 20000 verisi olan bir veri kümesinde köşe yazarlarına ait yazılardan yazarı tahmin etmeye yönelik bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında bazı yazarların diğerlerine göre çok daha ayırt edici olarak tespit edilebildiğini görmüşlerdir. Bu yaklaşımın yazar profili çıkarma, intihal tespiti ve hangi yazar kalemlerinin birbirine daha yakın olduğunun tespit edilebilmesi gibi amaçlar için kullanılabilceğini savunmuşlardır.

Karacıoğlu ve Aydın [8], Twitter sosyal platformundan toplanmış İngilizce ve Türkçe kısa iletiler üzerinde metin sınıflandırma çalışması yapmışlardır. Hem İngilizce, hem de Türkçe veri kümesinde kelime çantası modeli ile oluşturulmuş model ile Word2Vec ile oluşturulmuş olan modeli kıyaslamışlardır. Ayrıca kelimeleri köklerine ayırarak ve kelimeleri köklerine ayırmadan iki farklı versiyon ile testlerini yapmışlardır. İlgili modelleri SVM ve LR sınıflandırıcılarını kullanarak sınıflandırmışlar ve sonuçları birbiriyle kıyaslamışlardır.

Deniz vd. [9], Türkçe mailler üzerinde metin sınıflandırma işlemi uygulamışlardır. Türkçe veri kümesi kullanılarak sahte mailleri tespit etmeye çalışmışlardır. Maillerin vektörler ile ifade edilebilmesi için Doc2Vec algoritmasını kullanmışlar ve farklı sınıflandırma algoritmaları kullanarak bulunan sonuçları birbiriyle kıyaslamışlardır.

Erşahin vd [10], Türkçe metinler üzerine sözlük tabanlı ve makine öğrenmesi tabanlı yaklaşımların birleşimi olan hibrit bir yaklaşım ile duygu analizi uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Yazarlar, bu hibrit yaklaşımın ortalama başarı oranını %7 oranında arttırdığını tespit etmişlerdir.

Sel vd. [11], metin sınıflandırma işleminde boyut indirgeme ve özellik seçimi işlemleri ile sınıflandırma sisteminlerinin başarımlarını arttırmaya çalışmışlardır. Çalışmalarında

kullanmış oldukları veri kümesini ön işlem aşamalarından geçirdikten sonra Doc2Vec metodunu kullanılarak veri kümesini oluşturan dokümanları vektörleştirerek sınıflandırmışlardır. Daha sonra özellik seçimi işlemini gerçekleştirmişler ve özellik seçiminin başarımlarını yükselttiğini göstermişlerdir.

Erdoğan ve Güran [12], 5 milyon Türkçe haber dokümanından oluşan bir veri kümesini farklı ön işlem aşamalarından geçirdikten sonra veri kümelerini Word2Vec, Doc2Vec ve FastText metotları ile eğiterek kelime vektörleri elde etmişlerdir. Bu kelime vektörlerinin kullanılması ile dokümanların sayısallaştırılmasını sağlamışlardır. Ardından yaklaşık 2 milyon haber dokümanı eğitim ve test amaçlı kullanılarak farklı makine öğrenmesi metotları ile sınıflandırmışlardır. En iyi sonucu FastText metodu ile vektörleştirilen dokümanların sınıflandırılması ile elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Güler ve Tantuğ [13], popüler olarak araştırılan diller üzerinde yapılan araştırmaların Türkçe gibi zengin dillerde ortaya çıkan problemlerin tamamını aydınlatamadığını belirtmişlerdir. Yazarlar, Word2Vec modelini kelimelerin eklerine ve köklerine ayrılma işlemlerinin farklı şekillerde yapıldığı Türkçe metinler üzerine eğitmişlerdir. Ayrıca FastText modelini de eğitip, kelime benzetmesi, duygu analizi, metin sınıflandırma gibi görevlerin sonuçlarını kıyaslamışlardır.

3. TF-IDF Kelime Ağırlıklandırma Ölçümü

Dokümanların bilgisayarlar tarafından anlaşılabilmesi için sayılar ile ifade edilmesi gerekmektedir. Bu işlem dokümanların analiz edilmesi için makine öğrenimi sürecinde temel bir adımdır. Dokümanları oluşturan temel yapı kelimelerdir. Bir dokümanı vektörler ile ifade etmek için kelimeler TF-IDF ölçümü gibi ölçümlerle ifade edilebilir. TF-IDF değeri aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$TF - IDF(t, d, D) = TF(t, d) * IDF(t, D) \quad (1)$$

$$TF(t, d) = \log(1 + frekans(t, d)) \quad (2)$$

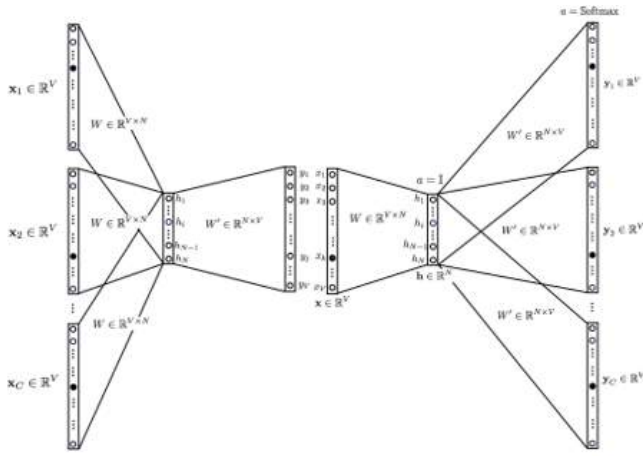
$$IDF(t, D) = \log\left(\frac{N}{say(d \in D: t \in d)}\right) \quad (3)$$

Burada frekans(t,d) kelime t'nin d.dokümanda kaç kez geçtiği bilgisidir; say(d∈D:t∈d) ifadesi ise kelime t'nin D derlemini oluşturan dokümanlardan kaç tanesinde barındırıldığı bilgisidir. TF-IDF, bir dokümandaki herhangi bir kelimenin dokümanla ne kadar alakalı olduğunu gösteren bir sayısal ölçümdür. TF-IDF kelimelerin birbirlerinden bağımsız olduğunu kabul etmekte ve kelimeler arasındaki anlamsal ilişkiyi ifade edememektedir. Ayrıca bir doküman veri kümesindeki doküman sayısının artması TF-IDF ölçüm değeri kullanılarak sayısallaştırılan dokümanların çok daha uzun vektörler ile ifade edilmesini sağlamaktadır. Son zamanlarda dokümanların yönetilebilir boyutlu vektörler ile ifade edilmesini sağlayan Yapay Sinir ağlarına dayalı olan Doc2Vec isimli bir metot önerilmiştir [2]. Çalışmamızda gerçekleştirilen Türkçe metin sınıflama veri kümelerindeki dokümanlar hem TF-IDF, hem de YSA'lara dayalı olan Doc2Vec metodu ile vektörleştirildikten sonra makine öğrenmesi algoritmaları ile sınıflandırılmış ve dokümanların vektörleştirilmesi esnasında ardışık kelime tespitine dayalı bir öneri sunularak sistem başarımlarının artırıldığı gösterilmiştir.

4. Word2Vec ve Doc2Vec Modelleri

4.1. Word2Vec Modeli

Word2Vec modeli YSA temelli bir modeldir. Bu model giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanından oluşmaktadır. Word2Vec iki farklı öğrenme mimarisine sahiptir. Bu mimariler CBOW ve Skip-Gram mimarileridir. Her iki öğrenme mimarisinde de veri kümelerindeki her kelime için bir-sıcak vektör adı verilen bir giriş vektörü ve kelimeler arasındaki anlamsal ilişkiyi barındıran bir çıkış vektörü (gömülü kelime vektörü) oluşturulmaktadır. CBOW mimarisinde Şekil 1'de gösterildiği gibi bir kelimenin belli bir pencere boyutu içindeki komşu kelimelerine (sağındaki ve solundaki kelimelere) bakılmaktadır. Bu komşu kelimelerin baz alınmasıyla hedef kelime tahmin edilmektedir. Skip-gram mimarisinde ise, CBOW mimarisinin tersine pencere merkezine oturtulan hedef kelimeye bakılarak komşu kelimelere ulaşılması hedeflenmektedir.



Şekil 1. CBOW ve Skip-gram Modelleri

CBOW modelinde, yarı eğitimci model için kullanılan veri kümesindeki her kelime için $x_k=1$ ve $k \neq k'$ için $x_k=0$ özelliklerini sağlayan x bir sıcak vektörleri yaratılır ve sözlük boyutunun $|V|$ olduğu varsayımı altında ağı sunulan bir-sıcak vektörler ile giriş katmanı ve gizli katman arasında bulunan W ağırlık matrisinin kullanılması ile Eş. 4 ile belirtilen durum uygulanır:

$$h = W^T x \quad (4)$$

Gizli katmanın çıkış değerlerinin hesaplanması için, ağı girdi olarak verilen giriş vektörlerinin ortalaması alınmaktadır. Hem CBOW, hem de Skip-gramda giriş katmanı ile gizli katman arasında aktivasyon fonksiyonu kullanılmamaktadır. Gizli katman ve çıkış katmanı arasında $N \times V$ boyutlu $W' = \{w'_{ij}\}$ kullanılmaktadır ($i=1,2,\dots, N; j=1,2,\dots, V$). Bu ağırlık değerleri kullanılarak Eş.5 ile belirtilen işlem gerçekleştirilmektedir:

$$W'^T h = u \quad (5)$$

v'_{w_j} vektörü W' matrisinin j . kolonu olsun. $V \times 1$ boyutlu u vektörünün bileşenleri ise u_j olsun. Bu durumda u_j değerleri Eş. 6 ile ifade edilebilir:

$$u_j = v'_{w_j}{}^T h \quad (6)$$

Yukarıdaki ifadede $h = v_{w_l}$ yerine konulursa Eş. 7 ile belirtilen ifade elde edilir:

$$u_j = v'_{w_j}{}^T v_{w_l} \quad (7)$$

Aslında u_j ifadesi bir skor değeri gibi düşünülebilir. Bu skor W_l içerik kelimesinin giriş ve gizli katman arasındaki W matrisi ile elde edilen (v_{w_l}) vektör gösterimi ile bu kelimedenden sonra gelebilecek olan w_j kelimesinin gizli katman ile çıkış katmanı arasında bulunan W' matrisi ile elde edilen (v'_{w_j}) vektör gösterimi arasındaki noktasal çarpımdır. Diğer bir ifadeyle kelimeler arasındaki benzerliktir. Bu aşamadan sonra u_j skorları softmax fonksiyonu kullanılarak normalize edilmekte ve değerler Eş. 8 ile belirtilen şekilde olasılık değerlerine çevrilmektedir:

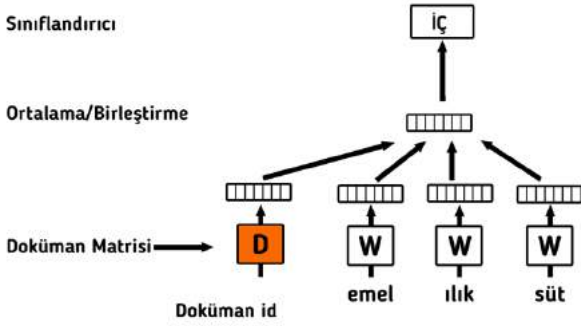
$$p(w_j | w_l) = \hat{y}_j = \frac{\exp(u_j)}{\sum_{j'=1}^V \exp(u_{j'})} \quad (8)$$

Hem CBOW, hem de Skip-gram geriye yayılım (backpropagation) algoritmasını kullanmaktadır. Bu algoritma, ağı çıktısının belirlendiği ileri besleme ve oluşan hatanın gradyenti azaltacak şekilde geri yayılarak ağırlıkların güncellendiği geri besleme safhalarını içermektedir. Algoritmanın işleyişi, hedeflenen ve elde edilen çıktılar arasındaki hatanın kabul edilir düzeye inmesini sağlamak amacıyla öncelikle gizli katman ile çıkış katmanı arasındaki ağırlık değerlerinin, daha sonra ise gizli katman-giriş katmanı arasındaki tüm ağırlık değerlerinin güncellenmesi prensibine dayalıdır. Ağı eğitiminin tamamlanmasının ardından CBOW modelinde gizli katman ile çıkış katman arasındaki W ağırlık matrisi kelimelerin gömülü vektörlerini içeren matris olarak kullanılmaktadır. Bu matristeki n . sütun sözlükteki n .kelimenin N boyutlu uzaydaki vektörüdür. Skip-gramda ise ağı eğitiminin tamamlanmasının ardından giriş katmanı ve gizli katman arasında elde edilen ağırlık matrisi kullanılmaktadır.

4.2. Doc2Vec Modeli

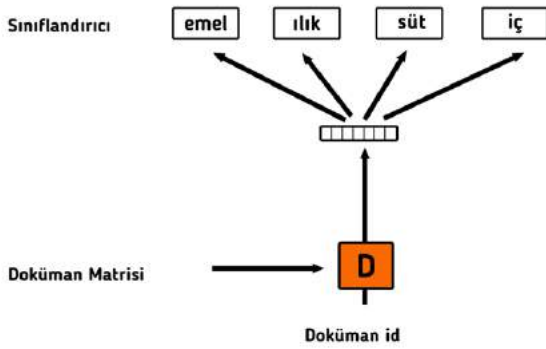
Doc2Vec modeli prensip olarak Word2Vec modeli prensiplerine dayanmaktadır. Bu model, Word2Vec mimarisine derlemdeki her bir doküman için ayrı bir doküman vektörünün eklenmesi ile yaratılmıştır. Bu doküman vektörleri ile derlemdeki dokümanlar uzunluklarından bağımsız bir şekilde sayısallaştırılabilmektedir. Doc2Vec modeli iki farklı öğrenme mimarisine sahiptir. PV-DM öğrenme modeli Word2Vec modelindeki CBOW'a karşılık gelmektedir.

Şekil 2 PV-DM öğrenme mimarisini göstermektedir. Bu şekil incelendiğinde kelime vektörlerini barındıran W matrisinin elde edilmesi sırasında, doküman vektörlerini içeren D doküman matrisinin de elde edildiği görülmektedir.



Şekil. 2. PV-DM Modeli

Şekil 3 ise Doc2Vec modelinin bir diğer öğrenme mimarisi olan ve Word2Vec modelinde Skip-gram modeline karşılık gelen PV-DBOW modelini göstermektedir. Bu modelde de Skip-gram mantığına paralel bir mantık ile dokümanlar uzunluklarından bağımsız bir şekilde vektörleştirilmektedir.



Şekil. 3. PV-DBOW Modeli

5. Kelime Grubu Modelleme

5.1 Kelime Grupları

Çalışmamızda bazı kelime gruplarının sahip olduğu kelimelerden bağımsız olarak daha özel anlamlara sahip olduğu görülmüştür. Örneğin 'Türkiye Büyük Millet Meclisi' ve 'Türkiye Cumhuriyeti Devleti' kelime grupları metin kümesinde daha özel bir anlam oluştururlar. Bu kelime gruplarının tek bir vektör halinde ifade edilmesi, vektör temsilinde kelime boyutunu azaltılmasını ve anlamlı kelime gruplarının oluşturulmasını sağlamaktadır.

Metin içerisindeki kelime gruplarını tanıyabilmek için pek çok teknik geliştirilmiştir. Bunlardan bir tanesi, basit ve veri odaklı bir yaklaşımdır [2]. Bu yaklaşımda kelime grupları Eş. 9 ile belirtilen ifade yardımıyla tespit edilebilmektedir.

$$skor(w_i, w_j) = \frac{say(w_i, w_j) - \delta}{say(w_i) * say(w_j)} \quad (9)$$

Bu formülde $say(w_i)$ metodu w_i kelimesinin ilgili doküman içerisinde kaç kez geçtiğini belirtmektedir. Aynı şekilde $say(w_i, w_j)$ metodu iki kelimenin doküman içerisinde birlikte kaç kez geçtiğini ifade etmektedir. δ bir katsayı olarak kullanılır. İlgili kelime grubunun minimum kaç kez metin kümesinde geçtiği

ile ilgilidir. Kullanıcı tarafından tanımlanan bir parametredir. Çok nadir kelime öbeklerinin geçtiği büyük bir kelime grubu listesinin oluşmasını engeller. Kendi ölçülerimizi yaparken δ katsayısı, beş olarak seçilmiştir. Eş.9 ile belirtilen formüle göre her kelime grubuna bir skor değeri verilmektedir. Daha sonra bir eşik değeri belirlenmesi gerekir. Bu değer kullanıcı tarafından belirlenen bir değerdir. Veri kümesinin büyüklüğüne ve içeriğine göre değişiklik gösterebilir. Burada doğru değeri bulabilmek için birkaç kez test yapmak gerekebilir. Kendi testlerimizde bu değer on olarak alınmıştır. Yukardaki formülden hesaplanan skor, eşik değerinden büyükse bigram kelime grubu oluşturulabilir. Ayrıca formüle eklemeler yapılarak trigram ve diğer n-gramlar da kullanılabilir. Çalışmamızda $n=\{1,2,3\}$ olacak şekilde kelime grupları oluşturulmuştur.

5.2 Vikipedi Kullanımı

Vikipedi, yazılmış olan verileri toplu şekilde erişime sunmaktadır. Bu erişimle, Vikipedideki metinlere ait başlıklara, içeriklere ve içeriklerde geçen bağlantılara ulaşılabilmektedir. Buradaki bağlantılar genellikle buldukları metin ile ilgili anlamsal ifadeler taşıyan ya da metnin hangi konuyla ilgili olduğu konusunda bilgi veren bağlantılardır.

Bu çalışmada Bölüm 5.1'deki yöntemle ardışık kelime grupları bulduktan sonra, veri kümesinde az sayıda bulunabilecek olan ardışık kelime gruplarını tespit etmek için, Vikipedi'de bağlantı olarak ifade edilmiş kelime gruplarının veri kümemizde var olup olmadığı kontrol edilmiştir. Böylece herhangi bir kelime grubu; Vikipedi'de bağlantı olarak ifade edildiyse bu kelime grupları da tek bir vektör ile ifade edilebilecektir. Bu şekilde 'Orgeneral James Jones', 'Orgeneral Hilmi Özkök', 'Gaziantep SSK Bölge Hastanesi', 'Anabilim Dalı Öğretim Üyesi' gibi kelime grupları da tıpkı Bölüm 5.1'deki yöntem ile tespit edilebilen kelime grupları gibi bir vektör ile ifade edilebilmiştir. Bu kullanım sayesinde $n>3$ olduğunda karşılaşılan bellek probleminde bir çözüm getirilmeye çalışılmıştır. Vikipedi'nin bağlantıları kullanılarak $n>3$ olan kelime grupları da tespit edilebilmiştir.

6. Veri Kümeleri

Çalışmamız da dört farklı veri kümesi kullanılmıştır. Bu veri kümeleri sırasıyla '1150Haber', 'Hürriyet6c-1k', 'Milliyet-9c-1k' ve 'AA haber' veri kümeleridir. Bu veri kümeleri ile ilgili bilgiler Tablo 1'de belirtildiği gibidir.

Tablo 1. Veri Kümeleri

Veri Kümesi	Sınıf Sayısı	Doküman Sayısı
1150 Haber	5	1150
Hürriyet6c-1k	8	6000
Milliyet-9c-1k	9	9000
AA Haber	8	20000

- 1150Haber veri kümesi, içerisinde 1150 adet haber metni içeren bir veri kümesidir. Bu veri kümesinin içerisindeki haber metinleri beş farklı kategoriye ayrılmıştır. Bu kategoriler sırasıyla; 'Ekonomi', 'Magazin', 'Sağlık', 'Siyasi' ve 'Spor' kategorileridir. [14]
- Hürriyet6c-1k veri kümesi, içerisinde 6000 adet haber metni içeren bir veri kümesidir. Bu veri kümesinin içerisindeki haber metinleri altı farklı kategoriye ayrılmışlardır. Bunlar sırasıyla; 'Dünya', 'Ekonomi', 'Gündem', 'Siyaset', 'Spor', 'Yaşam' şeklindedir. [15]
- Milliyet9c-1k veri kümesi, 9000 adet haber metni içermektedir. Bu veri kümesinde dokuz farklı kategori bulunmaktadır. Bu kategoriler sırasıyla; 'Yaşam', 'Türkiye', 'Spor', 'Siyaset', 'Güncel', 'Ekonomi', 'Ege', 'Dünya' ve 'Kafe' şeklindedir. [15]
- AA Haber veri kümesi veri kümelerimiz içerisinde 20000 adet haber metni ile en büyük veri kümemizdir.

Anadolu Haber Ajansı grubunun haberlerini içeren bir veri kümesidir ve sekiz farklı kategoriden oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla; 'Kültür ve Sanat', 'Ekonomi', 'Eğitim ve Bilim', 'Çevre ve Sağlık', 'Politika', 'Spor', 'Türkiye' ve 'Dünya' şeklindedir. [16]

7. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu bölümde araştırma sonuçları paylaşılmıştır. Tablo 2, 1150 Haber veri kümesini oluşturan dokümanların TF-IDF terim ağırlıklandırma ölçümünün kullanılması ile vektörleştirilmesinin ardından veri kümesinin %80-%20 eğitim-test oranı ile ayrılması ve 10'lu çapraz doğrulama tekniği ile sınıflandırılması sonuçlarını içermektedir. Bu tablodan görüleceği gibi ardışık kelime grubu tespiti gerçekleştirilmesi hem bireysel sınıflandırıcıların, hem de topluluk öğrenmesi sınıflandırıcılarının başarımlarının artmasını sağlamıştır. Sınıflandırma sonuçları incelendiğinde en iyi sınıflandırma metodlarının LR, SVM, MLP ve MV sınıflandırıcıları olduğu (**0.94**) görülmüştür.

Tablo 2. 1150Haber TF-IDF Sonuçları

Sınıflandırıcılar	Kelime Grubu Tespiti Yapılmadan	Kelime Grubu Tespiti Yapıldıktan Sonra
NB	0.91 (± 0.06)	0.92 (± 0.04)
LR	0.93 (± 0.07)	0.94 (± 0.04)
SVM	0.92 (± 0.06)	0.94 (± 0.06)
MLP	0.93 (± 0.05)	0.94 (± 0.02)
DT	0.81 (± 0.15)	0.82 (± 0.18)
KNN	0.89 (± 0.06)	0.90 (± 0.04)
MV	0.93 (± 0.07)	0.94 (± 0.06)
RF	0.87 (± 0.05)	0.91 (± 0.13)
BG	0.81 (± 0.10)	0.83 (± 0.02)
AB	0.88 (± 0.05)	0.90 (± 0.12)

Tablo 3, 1150 Haber veri kümesini oluşturan dokümanların Doc2Vec metodu ile vektörleştirilmesinin ardından veri kümesinin %80-%20 eğitim-test oranı ile ayrılması ve 10'lu çapraz doğrulama tekniği ile sınıflandırılması sonuçlarını içermektedir. Bu tablodan görüleceği gibi ardışık kelime grubu tespiti gerçekleştirilmesi çoğunlukla sınıflandırıcılarının

başarımlarının artmasını sağlamıştır (Başarımlar değeri artan algoritmalar koyu renkle vurgulanmıştır.) Sınıflandırma sonuçları incelendiğinde en iyi sınıflandırma metodunun Doc2Vec mimarilerinden elde edilen doküman vektörlerinin birleştirilmesi ile elde edilen durumunda (DBOW+DMC), MV ve BG algoritmalarının kullanımıyla elde edildiği görülmüştür.

Tablo 3. 1150Haber Doc2Vec Sonuçları

Sınıflandırıcı	Kelime Grubu Tespiti Yapılmadan			Kelime Grubu Tespiti Yapıldıktan Sonra		
	PV-DBOW	PV-DMC	DBOW+DMC	PV-DBOW	PV-DMC	DBOW+DMC
NB	0.70(± 0.03)	0.78(± 0.02)	0.76(± 0.02)	0.71(± 0.03)	0.78(± 0.02)	0.79(± 0.02)
LR	0.80(± 0.04)	0.81(± 0.03)	0.84(± 0.03)	0.81(± 0.04)	0.82(± 0.04)	0.85(± 0.04)
SVM	0.81(± 0.04)	0.83(± 0.04)	0.87(± 0.04)	0.81(± 0.02)	0.83(± 0.03)	0.87(± 0.04)
MLP	0.75(± 0.05)	0.80(± 0.04)	0.80(± 0.04)	0.75(± 0.02)	0.81(± 0.03)	0.80(± 0.03)
DT	0.84(± 0.03)	0.85(± 0.02)	0.87(± 0.05)	0.84(± 0.04)	0.86(± 0.02)	0.87(± 0.04)
KNN	0.71(± 0.06)	0.75(± 0.03)	0.74(± 0.05)	0.72(± 0.06)	0.75(± 0.05)	0.75(± 0.04)
MV	0.92(± 0.04)	0.93(± 0.01)	0.93(± 0.01)	0.93(± 0.03)	0.93(± 0.01)	0.94(± 0.01)
RF	0.91(± 0.02)	0.92(± 0.04)	0.93(± 0.02)	0.91(± 0.02)	0.93(± 0.02)	0.92(± 0.01)
BG	0.92(± 0.01)	0.93(± 0.02)	0.94(± 0.01)	0.92(± 0.01)	0.93(± 0.01)	0.94(± 0.04)
AB	0.89(± 0.03)	0.91(± 0.04)	0.92(± 0.02)	0.89(± 0.02)	0.91(± 0.02)	0.93(± 0.04)

Tablo 4 Milliyet haber veri kümesini oluşturan dokümanların TF-IDF terim ağırlıklandırma ölçümünün kullanılması ile vektörleştirilmesinin ardından veri kümesinin %80-%20 eğitim-test oranı ile ayrılması ve 10'lu çapraz doğrulama tekniği ile sınıflandırılması sonuçlarını içermektedir. Bu tablodan görüleceği

gibi ardışık kelime grubu tespitinin gerçekleştirilmesi hem bireysel sınıflandırıcıların hem de topluluk öğrenmesi sınıflandırıcılarının başarımlarının artmasını sağlamıştır. Sınıflandırma sonuçları incelendiğinde en iyi sınıflandırma metodunun SVM sınıflandırıcısı olduğu (**0.91**) görülmüştür.

Tablo 4. Milliyet TF-IDF Sonuçları

Sınıflandırıcılar	Kelime Grubu Tespiti Yapılmadan	Kelime Grubu Tespiti Yapıldıktan Sonra
<i>NB</i>	0.79 (\pm 0.03)	0.81(\pm0.02)
<i>LR</i>	0.85 (\pm 0.022)	0.86(\pm0.02)
<i>SVM</i>	0.90 (\pm 0.03)	0.91(\pm0.03)
<i>MLP</i>	0.89 (\pm 0.02)	0.90(\pm0.02)
<i>DT</i>	0.70 (\pm 0.04)	0.71(\pm0.05)
<i>KNN</i>	0.70 (\pm 0.03)	0.71 (\pm 0.02)
<i>MV</i>	0.88 (\pm 0.02)	0.90(\pm0.01)
<i>RF</i>	0.81 (\pm 0.01)	0.82(\pm0.04)
<i>BG</i>	0.82 (\pm 0.03)	0.84(\pm0.01)
<i>AB</i>	0.82 (\pm 0.01)	0.85(\pm0.03)

Tablo 5 Milliyet Haber veri kümesini oluşturan dokümanların Doc2Vec metodu ile vektörleştirilmesinin ardından elde edilen sonuçları göstermektedir. Öncelikle bu tablonun ilk yarısına bakıldığında Doc2Vec'in iki öğrenme mimarisinin birleşimi ile

elde edilen durumun mimarilerin ayrı ayrı uygulanmasıyla elde edilen durumdan sıklıkla daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Tablonun ikinci yarısı incelendiğinde ardışık kelime grubu tespitinin yine bazı metodların başarımlarını arttırdığı tespit edilmiştir.

Tablo 5. Milliyet Doc2Vec Kelime Gruplama Kullanılmadan

Sınıflandırıcı	Kelime Grubu Tespiti Yapılmadan			Kelime Grubu Tespiti Yapıldıktan Sonra		
	PV-DBOW	PV-DMC	DBOW+DMC	PV-DBOW	PV-DMC	DBOW+DMC
<i>NB</i>	0.70(\pm 0.01)	0.74(\pm 0.01)	0.78(\pm 0.01)	0.73(\pm 0.01)	0.74(\pm 0.01)	0.78(\pm 0.02)
<i>LR</i>	0.85(\pm 0.01)	0.86(\pm 0.02)	0.93(\pm 0.01)	0.90(\pm 0.01)	0.86(\pm 0.01)	0.93(\pm 0.02)
<i>SVM</i>	0.90(\pm 0.04)	0.86(\pm 0.01)	0.94(\pm 0.02)	0.89(\pm 0.02)	0.86(\pm 0.02)	0.94(\pm 0.01)
<i>MLP</i>	0.89(\pm 0.02)	0.84(\pm 0.02)	0.93(\pm 0.03)	0.90(\pm 0.03)	0.90(\pm 0.03)	0.94(\pm 0.02)
<i>DT</i>	0.82(\pm 0.03)	0.83(\pm 0.03)	0.88(\pm 0.02)	0.83(\pm 0.04)	0.84(\pm 0.01)	0.89(\pm 0.01)
<i>KNN</i>	0.89(\pm 0.06)	0.87(\pm 0.04)	0.87(\pm 0.01)	0.89(\pm 0.01)	0.89(\pm 0.02)	0.88(\pm 0.02)
<i>MV</i>	0.94(\pm 0.02)	0.92(\pm 0.02)	0.95(\pm 0.02)	0.94(\pm 0.02)	0.94(\pm 0.01)	0.95(\pm 0.03)
<i>RF</i>	0.84(\pm 0.01)	0.88(\pm 0.03)	0.88(\pm 0.03)	0.84(\pm 0.05)	0.89(\pm 0.03)	0.88(\pm 0.05)
<i>BG</i>	0.93(\pm 0.05)	0.92(\pm 0.04)	0.94(\pm 0.05)	0.94(\pm 0.03)	0.93(\pm 0.03)	0.94(\pm 0.01)
<i>AB</i>	0.88(\pm 0.02)	0.90(\pm 0.01)	0.90(\pm 0.02)	0.89(\pm 0.04)	0.91(\pm 0.02)	0.91(\pm 0.03)

Tablo 6 Hürriyet haber veri kümesini oluşturan dokümanların TF-IDF terim ağırlıklandırma ölçümünün kullanılması ile vektörleştirilmesinin ardından veri kümesinin %80-%20 eğitim-test oranı ile ayrılması ve 10'lu çapraz doğrulama tekniği ile sınıflandırılması sonuçlarını içermektedir. Bu tabloda ardışık kelime tespitinin, pek çok algoritmanın başarımlarını arttırdığını gözler önüne sermiştir. Topluluk öğrenmesi metodları bireysel sınıflandırıcılara göre daha iyi sonuçlar üretmişlerdir. En iyi başarımların değeri (0.82) topluluk öğrenmesi metodlarından olan BG ve AB algoritmalarına ait çıkmıştır.

Tablo 7 Hürriyet Haber veri kümesini oluşturan dokümanların Doc2Vec metodu ile vektörleştirilmesinin ardından ulaşılan başarımlarını içermektedir. Yine bu tablonun ilk yarısına bakıldığında Doc2Vec'in iki öğrenme mimarisinin birleşimi ile elde edilen durumun mimarilerin ayrı ayrı uygulanmasıyla elde edilen durumdan sıklıkla daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Tablonun ikinci yarısı incelendiğinde ardışık kelime grubu tespitinin yine bazı metodların başarımlarını arttırdığı tespit edilmiştir. Topluluk öğrenmesi metodları bu veri kümesi üzerinde daha yüksek sınıflandırma sonuçları üretmiştir.

Tablo 6. Hürriyet TF-IDF Sonuçları

Sınıflandırıcılar	Kelime Grubu Tespiti Yapılmadan	Kelime Grubu Tespiti Yapıldıktan Sonra
NB	0.78 (\pm 0.04)	0.78 (\pm 0.02)
LR	0.79 (\pm 0.04)	0.80 (\pm0.02)
SVM	0.78 (\pm 0.03)	0.79 (\pm0.04)
MLP	0.78 (\pm 0.04)	0.80 (\pm0.02)
DT	0.76 (\pm 0.05)	0.76 (\pm 0.02)
KNN	0.71 (\pm 0.03)	0.72(\pm0.04)
MV	0.79(\pm 0.04)	0.80 (\pm0.01)
RF	0.78 (\pm 0.02)	0.80 (\pm0.04)
BG	0.79(\pm 0.03)	0.82(\pm0.02)
AB	0.80 (\pm 0.02)	0.82(\pm0.01)

Tablo 7. Hürriyet Doc2Vec Kelime Gruplama Kullanılmadan

Sınıflandırıcı	Kelime Grubu Tespiti Yapılmadan			Kelime Grubu Tespiti Yapıldıktan Sonra		
	PV-DBOW	PV-DMC	DBOW+DMC	PV-DBOW	PV-DMC	DBOW+DMC
NB	0.69(\pm 0.05)	0.75(\pm 0.02)	0.78(\pm 0.02)	0.75(\pm 0.01)	0.76(\pm 0.01)	0.78(\pm 0.02)
LR	0.78(\pm 0.01)	0.74(\pm 0.01)	0.81(\pm 0.01)	0.78(\pm 0.02)	0.78(\pm 0.02)	0.81(\pm 0.02)
SVM	0.78(\pm 0.02)	0.76(\pm 0.02)	0.83(\pm 0.03)	0.77(\pm 0.02)	0.76(\pm 0.02)	0.82(\pm 0.01)
MLP	0.81(\pm 0.01)	0.77(\pm 0.03)	0.82(\pm 0.01)	0.82(\pm 0.02)	0.81(\pm 0.02)	0.82(\pm 0.01)
DT	0.79(\pm 0.01)	0.78(\pm 0.02)	0.85(\pm 0.02)	0.78(\pm 0.01)	0.80(\pm 0.01)	0.85(\pm 0.01)
KNN	0.77(\pm 0.01)	0.80(\pm 0.01)	0.78(\pm 0.02)	0.76(\pm 0.01)	0.81(\pm 0.03)	0.78(\pm 0.01)
MV	0.92(\pm 0.03)	0.88(\pm 0.02)	0.92(\pm 0.02)	0.94(\pm 0.02)	0.88(\pm 0.01)	0.92(\pm 0.01)
RF	0.87(\pm 0.02)	0.85(\pm 0.01)	0.88(\pm 0.01)	0.87(\pm 0.01)	0.86(\pm 0.01)	0.88(\pm 0.01)
BG	0.93(\pm 0.01)	0.86(\pm 0.02)	0.94(\pm 0.02)	0.93(\pm 0.03)	0.87(\pm 0.01)	0.94(\pm 0.02)
AB	0.87(\pm 0.02)	0.89(\pm 0.03)	0.89(\pm 0.02)	0.88(\pm 0.02)	0.90(\pm 0.02)	0.90(\pm 0.03)

Tablo 8 TF-IDF terim ağırlıklandırma değerinin kullanılması ile sayısallaştırılan dokümanların sınıflandırılması sonuçlarını yansıtmaktadır. Ardışık kelime grubu tespiti hem bireysel hem de topluluk öğrenmesi metotlarının tümünün başarımlarını

arttırmıştır. Topluluk öğrenmesi metotlarından olan AB ve MV algoritmaları 0.84 değeri ile en iyi başarımlarına sahip olan algoritmalar olmuştur.

Tablo 8. AA Haber TF-IDF Sonuçları

Sınıflandırıcılar	Kelime Grubu Tespiti Yapılmadan	Kelime Grubu Tespiti Yapıldıktan Sonra
NB	0.80 (\pm 0.02)	0.81 (\pm0.02)
LR	0.81 (\pm 0.02)	0.82(\pm0.03)
SVM	0.80 (\pm 0.04)	0.81 (\pm0.03)
MLP	0.77 (\pm 0.02)	0.78 (\pm0.02)
DT	0.75 (\pm 0.02)	0.77 (\pm0.04)
KNN	0.75 (\pm 0.01)	0.76(\pm0.01)
MV	0.82 (\pm 0.03)	0.84(\pm0.05)
RF	0.79 (\pm 0.02)	0.81 (\pm0.01)
BG	0.80 (\pm 0.02)	0.82(\pm0.03)
AB	0.82 (\pm 0.03)	0.84 (\pm0.05)

Tablo 10. AA Haber veri kümesini oluşturan dokümanların Doc2Vec metodu ile vektörleştirilmesinin ardından ulaşılan başarımlarını içermektedir. Yine bu tablonun ilk yarısına bakıldığında Doc2vec'in iki öğrenme mimarisinin birleşimi ile

elde edilen durumun, mimarilerin ayrı ayrı uygulanmasıyla elde edilen durumdan sıklıkla daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Tablonun ikinci yarısı incelendiğinde ardışık kelime grubu tespitinin yine bazı metotların başarımlarını arttırdığı tespit

edilmiştir. Topluluk öğrenmesi metotları bu veri kümesi üzerinde daha yüksek sınıflandırma sonuçları üretmiştir. En iyi başarımların değeri 0.94 değeriyle topluluk öğrenmesi metotlarından BG

algoritmasına aittir. Doc2Vec, TF-IDF değerlerinden daha yüksek değerler elde edilmesini sağlamıştır.

Tablo 10. AA Haber Doc2Vec Kelime Grublama Kullanılmadan

Sınıflandırıcı	Kelime Grubu Tespiti Yapılmadan			Kelime Grubu Tespiti Yapıldıktan Sonra		
	PV-DBOW	PV-DMC	DBOW+DMC	PV-DBOW	PV-DMC	DBOW+DMC
NB	0.70(± 0.03)	0.71(± 0.02)	0.71(± 0.02)	0.76(± 0.01)	0.72(± 0.02)	0.72(± 0.02)
LR	0.78(± 0.05)	0.71(± 0.03)	0.78(± 0.03)	0.79(± 0.01)	0.71(± 0.02)	0.79(± 0.01)
SVM	0.78(± 0.04)	0.72(± 0.04)	0.79(± 0.04)	0.77(± 0.01)	0.80(± 0.03)	0.78(± 0.02)
MLP	0.81(± 0.05)	0.73(± 0.04)	0.82(± 0.04)	0.81(± 0.02)	0.72(± 0.01)	0.83(± 0.03)
DT	0.75(± 0.05)	0.70(± 0.08)	0.85(± 0.05)	0.75(± 0.03)	0.71(± 0.01)	0.85(± 0.04)
KNN	0.82(± 0.06)	0.70(± 0.05)	0.82(± 0.05)	0.81(± 0.01)	0.73(± 0.02)	0.81(± 0.02)
MV	0.90(± 0.02)	0.84(± 0.01)	0.90(± 0.01)	0.90(± 0.01)	0.84(± 0.02)	0.91(± 0.01)
RF	0.80(± 0.02)	0.70(± 0.02)	0.77(± 0.01)	0.77(± 0.03)	0.72(± 0.02)	0.78(± 0.03)
BG	0.93(± 0.01)	0.92(± 0.01)	0.93(± 0.02)	0.92(± 0.01)	0.93(± 0.04)	0.94(± 0.02)
AB	0.92(± 0.03)	0.85(± 0.03)	0.82(± 0.04)	0.93(± 0.02)	0.85(± 0.03)	0.84(± 0.03)

8. Sonuç

Bu çalışmada, geleneksel kelime çantası modeli (TF-IDF terim ağırlıklandırma ölçümü) ve YSA'lara dayalı bir yöntem olan Doc2Vec yöntemi ile vektörleştirilen dokümanlar üzerinde bireysel sınıflandırıcılar ve topluluk öğrenmesi algoritmalarının başarımlarını kıyaslanmıştır. Bu amaçla farklı uzunluklarda haber dokümanlarını içeren 4 farklı Türkçe veri kümesi kullanılmıştır.

Geleneksel kelime çantası modeline dayalı olan TF-IDF terim ağırlıklandırma ölçümü kelimeler arasındaki anlamsal ilişkileri yansıtmamaktadır. Üstelik kelime çantası modelinde veri kümesinin boyutunun artması dokümanların vektörleştirilmesi sırasında vektör uzayının boyutunun artmasına da neden olmaktadır. YSA'lara dayalı bir metod olan Doc2Vec metodu ise kelimeler ve dolayısıyla kelimeleri içeren dokümanlar arasındaki anlamsal ilişkiyi barındırmakta ve yönetilebilir boyutta doküman vektörlerinin elde edilmesini sağlamaktadır. Çalışmamızda TF-IDF ve Doc2Vec metotları ile vektörleştirilen dokümanlar üzerinde uygulanan sınıflandırıcıların başarımlarını kıyaslanmıştır. Deneylerimiz sonunda sıklıkla Doc2Vec ile vektörleştirilen doküman vektörlerinin sınıflandırma aşamasında daha iyi başarımların değerlerinin üretilmesini sağladığı gözlemlenmiştir. Ayrıca genelde topluluk öğrenmesi metotları bireysel algoritmalarından daha yüksek sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır. Doc2Vec modeli iki farklı öğrenme mimarisine sahiptir. PV-DM öğrenme modeli Word2Vec modelindeki CBOW'a karşılık gelmektedir. PV-DBOW öğrenme modeli ise Word2Vec modelindeki Skip-gram modeline karşılık gelir. Bu çalışmada bu iki öğrenme modelinin ürettiği vektörler birleştirilmiş ve metinler bu şekilde sayısallaştırıldıktan sonra hem bireysel, hem de topluluk öğrenmesi metotları ile sınıflandırılmıştır. Sonuç olarak iki öğrenme mimarisinden elde edilen doküman vektörlerinin birleşiminin sıklıkla daha iyi sonuçlar ürettiği gözlemlenmiştir.

Bu çalışmanın literatüre olan katkısı; sınıflandırma aşamasına geçilmeden önce dokümanların içindeki ardışık kelimelerin tespitinin gerçekleştirilmesi ve dokümanların bu

kelime öbeklerinin tek bir kelime gibi ele alınmasıyla vektörleştirildikten sonra uygulanan sınıflandırıcıların başarımlarının arttığının gösterilmesi olmuştur. Ardışık kelime tespiti sırasında kullanılan kelimelerin birlikte geçme sıklığı prensibine dayalı olan bir prensip dışında, Türkçe Vikipedi'nin kelime bağlantıları da kullanılmış ve dokümanlar içinde az sayıda geçmesine rağmen anlamlı ardışık kelime öbeklerinin tespiti gerçekleştirilebilmiştir. Ardışık kelime grubu tespiti ile sınıflandırma deneylerinin hemen hemen tümünde daha yüksek başarımların değerleri elde edilmiştir.

Kaynakça

- [1] Mikolov T, Chen K, Corrado G, Dean J. (2013). Efficient estimation of word representations in vector space. Proceedings of Workshop at ICLR. Scottsdale, Arizona 2-4 Mayıs 2013.
- [2] Quoc Le and Tomas Mikolov. (2014). Distributed representations of sentences and documents. In Proceedings of the 31st International Conference on Machine Learning (ICML 2014), pages 1188–1196, Beijing, China.
- [3] Ay Karakuş, B., Talo, M., Hallaç, İ. R., & Aydın, G. (2018). Evaluating deep learning models for sentiment classification. Concurrency and Computation: Practice and Experience, e4783.
- [4] Karasoy, O., Ballı, S. (2017). Classification Turkish SMS with deep learning tool Word2Vec. In Computer Science and Engineering (UBMK), 2017 International Conference on (pp. 294-297). IEEE.
- [5] Şahin, G. (2017). Turkish document classification based on Word2Vec and SVM classifier. In 2017 25th signal processing and communications applications conference (SIU) (pp. 1-4). IEEE.
- [6] Çelenli, H. İ., Öztürk, S. T., Şahin, G., Gerek, A., Ganiz, M. C. (2018). Document Embedding Based Supervised Methods for Turkish Text Classification. In 2018 3rd International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK) (pp. 477-482). IEEE.

- [7] Sarı, M., Özbayoğlu, A. M. (2018). Classification of Turkish Documents Using Paragraph Vector. In 2018 International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing (IDAP) (pp. 1-5). IEEE.
- [8] Karcioğlu, A. A., Aydın, T. (2019). Sentiment Analysis of Turkish and English Twitter Feeds Using Word2Vec Model. In 2019 27th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU) (pp. 1-4). IEEE.
- [9] Deniz, E., Erbay, H., Coşar, M. (2019). Classification of Turkish E-Mails with Doc2Vec. In 2019 1st International Informatics and Software Engineering Conference (UBMYK) (pp. 1-4). IEEE.
- [10] Erşahin, B., Aktaş, Ö., Kilinc, D., Erşahin, M. (2019). A hybrid sentiment analysis method for Turkish. Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences, 27(3), 1780-1793.
- [11] Sel, İ., Karci, A., Hanbay, D. (2019, September). Feature Selection for Text Classification Using Mutual Information. In 2019 International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP) (pp. 1-4). IEEE.
- [12] Erdiñ, H. Y., Güran, A. (2019). Semi-supervised Turkish Text Categorization with Word2Vec, Doc2Vec and FastText Algorithms. In 2019 27th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU) (pp. 1-4). IEEE.
- [13] Güler, G., Tantuğ, A. C. (2020). Comparison of Turkish Word Representations Trained on Different Morphological Forms. arXiv preprint arXiv:2002.05417.
- [14] Amasyalı M. F., Beken, A. (2009). “Türkçe kelimelerin anlamsal benzerliklerinin ölçülmesi ve metin sınıflandırmada kullanılması,” In IEEE signal processing and communications applications conference, Antalya, Turkey, 2009.
- [15] Torunoğlu, D., Çakirman, E., Ganiz, M. C., Akyokuş, S., Gürbüz, M. Z. (2011). Analysis of preprocessing methods on classification of Turkish texts. In 2011 International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications (pp. 112-117). IEEE.
- [16] Tantuğ A. C. (2010), “Document categorization with modified statistical language models for agglutinative languages,” International Journal of Computational Intelligence Systems, vol. 3, no. 5, pp. 632–645, 2010.



Fermentasyonun Mantar Turşusunun Biyoaktivitesi ve Çeşitli Özelliklerine Etkisi

Bahar Gül^{1,2*}, Osman Sağdıç¹, Kübra Özkan¹

¹Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalürji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-5452-3427; 0000-0002-2063-1462; 0000-0003-0580-5804), bahar.bay13@gmail.com, sagdic@gmail.com, kubraozkan1907@gmail.com

²Döhler Gıda San. A.Ş. Ar-Ge Merkezi, İstanbul, Türkiye

(İlk Geliş Tarihi 13 Aralık 2021 ve Kabul Tarihi 18 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.860073)

ATIF/REFERENCE: Gül, B., Sağdıç, O. & Özkan, K. (2021). Fermentasyonun Mantar Turşusunun Biyoaktivitesi ve Çeşitli Özelliklerine Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 333-340.

Öz

Fonksiyonel bileşenlerce zengin gıda arasında yer alan mantarlar, yapılarında yüksek oranda su, doğal mikrobiyota ve enzimatik aktivite sebebi ile çabuk bozulan gıdalar arasında değerlendirilmektedir. Bu yüzden raf ömrünü uzatmak amacı ile çeşitli muhafaza yöntemlerine başvurulmaktadır. Bu muhafaza yöntemlerinden biri olan fermentasyon sırasında ortamda baskın mikrobiyota olan laktik asit bakterilerinin (LAB) kendine has tat ve aroma bileşenleri oluşturmasıyla mantar turşusu uzun süreler sevilerek tüketilebilmektedir. Bu çalışmada Kastamonu ilinden taze olarak toplanan kanlıca mantarından (*Lactarius deliciosus*) turşu üretimi gerçekleştirilmiş ve fermentasyon süresince meydana gelen bazı biyoaktiviteleri, fizikokimyasal, mikrobiyolojik ve duyuşal özellikleri belirlenmiştir. Turşu fermentasyonu sırasında LAB gelişimiyle birlikte pH değerinin düştüğü, tersine titrasyon asitliğinin yükseldiği, duyuşal özellikler açısından turşunun beğenildiği gözlenmiştir. Taze mantarın toplam fenolik madde miktarının 188.73 mg Gallik Asit Eşdeğeri (GAE) /100 g kuru madde (KM) olduğu, antioksidan aktivitesinin ise; DPPH yöntemiyle 14.80 µmol Troloks Eşdeğeri (TE) /g KM, CUPRAC yöntemiyle 22.31 µmol TE /g KM ve ABTS yöntemiyle 7.72 µmol TE /g KM olduğu saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Mantar turşusu, *Lactarius deliciosus*, Fermentasyon, Biyoaktivite, Laktik asit bakterileri.

Effect of Fermentation on the Bioactivity and Various Properties of Pickled Mushrooms

Abstract

Edible mushrooms, which are among the foods rich in functional ingredients, are considered among the foods that perishable due to their high water content, natural microbiota, and enzymatic activity. Therefore, various preservation methods are used in order to extend shelf life. With fermentation, which is one of these preservation methods, pickled mushrooms can be consumed for a long time thanks to the specific taste and aroma components of lactic acid bacteria (LAB) that grow in the environment. In this study, pickles were produced from Kanlıca mushroom (*Lactarius deliciosus*) freshly collected from Kastamonu province and was determined the effect of the fermentation process on some physicochemical, microbiological, sensory properties, and bioactive compounds change in mushroom. During pickle fermentation, it was determined that the pH value decreased depending on the development of LAB, the titratable acidity increased and the amount of dry matter decreased compared to the initial. Total phenolic content and antioxidant activities of fresh mushroom was 188.73 mg Gallic Acid Equivalent /100 g dried weight (DW), 14.80 µmol Trolox Equivalent (TE) /g DW (by DPPH method), 22.31 µmol TE /g DW (by CUPRAC method), 7.72 µmol TE /g DW (by ABTS method), respectively.

Keywords: Mushroom pickle, *Lactarius deliciosus*, Fermentation, Bioactivity, Lactic acid bacteria.

* Sorumlu Yazar: bahar.bay13@gmail.com

1. Giriş

Sağlıklı beslenme insan sağlığını etkileyen en önemli etkenlerden biridir. Bunun için insan sağlığına faydalı etkileri olan fonksiyonel özelliklere sahip gıdalar ön plana çıkmaktadır (Sağdıç ve ark., 2020; Wang ve ark., 2019; Zhang ve ark., 2018). Sağlıklı gıdalar arasında yer alan ve yaklaşık bir milyon yıldır dünyanın farklı lokasyonlarında sevilerek tüketilen fermente gıdalar, dünya gıda tüketiminin üçte birini oluşturmaktadır. Fermentasyon süresinde hem gıdanın raf ömrü uzamakta hem de üretilen lezzet bileşenleri sayesinde, tüketicileri duyuşal açıdan cezbetmektedir (Demirgöl & Sağdıç, 2018; Campbell-Platt, 2014).

Özellikle çabuk bozulan meyve ve sebzelerin raf ömrünü artırmak amacıyla uygulanan fermentasyon işlemlerinden biri de turşu üretimidir. Turşu üretimi sırasında ortama eklenen tuz ve ortam şartları sayesinde laktik asit bakterileri (LAB) mayalara oranla daha fazla gelişim imkanı bulabilmekte ve böylece baskın mikroorganizma olabilmektedirler. Fermentasyonda özellikle *Lactobacillus* 'lar baskın olarak gelişmekte ve anaerobik fermentasyon sırasında diasetil, laktik asit gibi lezzet maddeleri üreterek turşuları duyuşal açıdan daha cezbedici hale getirmektedir (Zheng ve ark., 2020; Demirgöl & Sağdıç, 2017; Park ve ark., 2014; DiCagno ve ark., 2013). Laktik asit fermentasyonu, gıda ürünlerinin korunmasını kolaylaştırmakta, gıdaları mikrobiyal bozulmaya karşı dirençli hale getirmektedir. Ayrıca ortamda bulunan LAB ve metabolitleri, ürünün insan sağlığını geliştirici özelliklerini arttırmaktadır (Jabłońska-Ryś ve ark., 2019).

Dünya'da yaklaşık 14.000 mantar türü doğada tespit edilmiş ve bunların arasından 2.000 mantar türü yenilebilir olarak rapor edilmiştir. Pek çok araştırmacı yenilebilir mantarların; antioksidan, kolesterol düşürücü, antihipertansif, antiinflamatuar, karaciğer koruma ve ayrıca antidiyabetik, antiviral ve antimikrobiyal özelliklere sahip olduğunu bildirmektedir (Román ve ark., 2020). Geçmişten günümüze kadar yabancı olarak yetişen doğal bir gıda olarak sofralarımızda yer alan mantarlar; tat, aroma ve doku açısından beğenildiği için, her geçen gün tüketim oranı biraz daha artmaktadır. Duyusal açıdan insanları cezbetmesinin yanı sıra son yıllarda mantarların yüksek antioksidan aktiviteye sahip olduğunun anlaşılması ile gittikçe dikkatleri üzerine toplamışlardır. Yapılarında yüksek protein, lif, mineral ve vitamin içeriğinin yanı sıra yağ oranının düşük olması da günümüz diyetlerinde mantarların ön plana çıkmasına neden olmaktadır. Sadece gıda olarak değil aynı zamanda tıbbi ve kozmetik pazarlarda da mantar bazlı ürünler ile karşılaşmaktadır (Falandysz, 2016; Xiaomin ve ark., 2016; Smolskaite, 2015; Kalogeropoulos ve ark., 2013; Guillamón ve ark., 2010; Nitha ve ark., 2010; Hearst ve ark., 2009; Mathew ve ark., 2008).

Mantarlar yapısında bulunan yüksek oranda su, toprak kökenli yoğun doğal mikrobiyota ve enzim aktivitesinin sebebi ile çabuk bozulan gıdalar arasındadır. Yüksek enzim aktivitesiyle ilişkili olarak kararın hızının yüksek oluşu, özellikle taze mantarın pazar değeri için en büyük problemlerden biridir. Oda koşullarında muhafaza edildiklerinde çok kısa sürede tazeliklerini kaybetmekte ve bu sebeple raf ömrünü uzatmak için özellikle çeşitli muhafaza yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Mantarların raf ömrünü uzatmak amacıyla dondurma, sterilize etme, kurutma, konserve, marinasyon, modifiye atmosferde paketlenme, salamurada muhafaza gibi birçok yöntem

başvurulabilmekte ve toz, ezme, konsantre ve ekstrakt gibi birçok ürünle tüketicilere ulaştırılmaktadır. Özellikle mantar yoğunluğunun ve tüketiminin fazla olduğu birçok bölgede, geleneksel olarak turşu şeklinde mantar pişirilmeden de sevilerek tüketilebilen bir gıda olarak sunulmaktadır (Gürgen ve ark., 2019; Deb ve ark., 2018; Khaskheli ve ark., 2017; Liu ve ark., 2016; Jabłońska-Ryś ve ark., 2016b; Bernas ve Jaworska, 2012; Jaworska ve ark., 2011; Bernas ve ark., 2006).

Fermentasyonun farklı mantar türlerinin çeşitli özelliklerine, fenolik madde miktarı ve antioksidan aktivitesine olumlu etkisi bazı araştırmacılar tarafından bildirilmiştir (Ganguli ve ark., 2008; Jabłońska-Ryś ve ark., 2016b; Khaskheli ve ark., 2017; Deb ve ark., 2018; Tabiolo & Maribeth Sy, 2018). Ancak, literatürde kanlıca mantarından (*Lactarius deliciosus*) turşu üretimi ve fermentasyonun süresinin mantarın çeşitli özellikleri ve biyoaktivitesi üzerine etkisi ile ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmanın amacı, kanlıca mantarından geleneksel yöntemine uygun olarak turşu üretimi ve fermentasyonun mantarın bazı fizikokimyasal, duyuşal, mikrobiyolojik ve biyoaktif özelliklerine etkilerini araştırmaktır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Bu çalışmada turşu üretiminde kullanılan kanlıca mantarı (*Lactarius deliciosus*) ve sarımsak Kastamonu ili İnebolu ilçesindeki yerel pazardan taze olarak; kaya tuzu, limon tuzu, sirke (%5 asetik asit) ise İstanbul'daki yerel marketlerden temin edilmiştir. Mantarların yıkanması, haşlanması ve salamura suyun hazırlanması sırasında içme suyu kalitesindeki su kullanılmıştır.

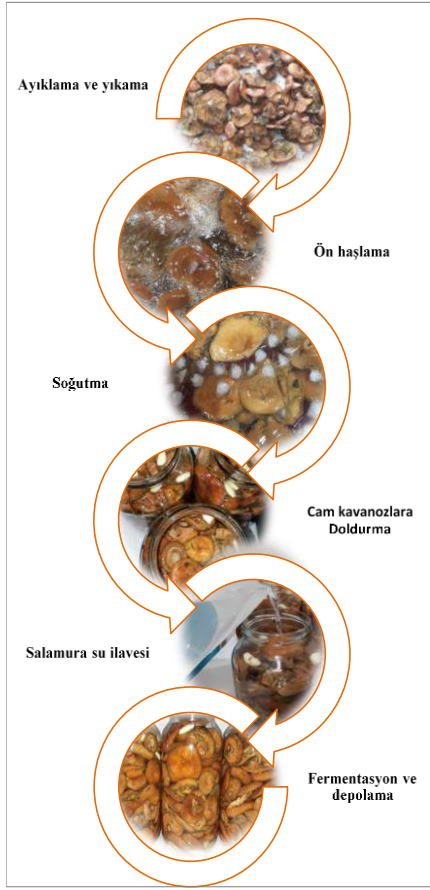
2.2. Metot

2.2.1. Turşu Üretimi

Taze olarak temin edilen mantarlar öncelikle yabancı maddelerden ayıklanarak yıkanmıştır. Yıkama sonrası mantarlar, enzimlerin inaktivasyonu için, önceden kaynatılmış suda 3 dakika süre ile haşlama işlemine tabii tutulmuş hemen ardından buzlu su içerisinde hızlı bir şekilde soğutulmuştur.

Haşlama işlemi sonrası suyu süzölen mantarlar kavanozlara dizilerek içerisine sarımsak ilavesi yapılmış ve üzerine salamura suyu eklenmiştir. Kullanılan salamura suyu karışımı içerisinde; 1 litre içme suyu, tuz (%10), limon tuzu (%1), 100 mL sirke yer almaktadır (Singh ve ark., 2018; Zheng ve ark., 2017; Khaskheli ve ark., 2015b) Dolu sonrası mantar 25±2°C'de karanlık bir dolapta 40 gün boyunca fermentasyona bırakılmıştır. Şekil 1'de görseller ile üretim aşamaları gösterilmiştir.

Taze, haşlanmış mantar ve belirli aralıklarla (2, 9, 18, 28, 40. gün) alınan turşu örneklerinde fizikokimyasal analizler, mikrobiyolojik analizler, biyoaktif özellikler ve turşu formundaki mantarın 40. gün sonundaki duyuşal özellikler belirlenmiştir.



Şekil 1: Mantar turşusu üretim aşaması

2.2.2. Fizikokimyasal Analizler

Mantar turşusu örneklerinin pH değerleri, pH metre cihazı (Hanna Instrument HA2211 pH/ORP Meter) probunun kalibrasyon sonrası oda sıcaklığında turşu kavanozlarına daldırılarak gerçekleştirilmiş, yüzde serbest asitlik değerlerini laktik asit cinsinden belirlemek amacıyla titrimetrik yöntem kullanılmıştır (Uylaşer ve Başoğlu, 2014). Belirli miktardaki mantar turşusu örneği önceden darası alınmış petri kaplarında 105 °C 'deki etüvde 2,5-3 saat bekletilmiş ve meydana gelen ağırlık kaybı % kuru madde miktarı olarak hesaplanmıştır. Örneklerdeki tuz miktarını Mohr Yöntemi ile belirlenmiştir (Cemeroğlu, 2013).

2.2.3. Mikrobiyolojik Analizler

Örneklerdeki mikrobiyolojik özelliklerini belirlemek için steril stomacher torbası içerisine 10 g örnek steril koşullarda tartılarak üzerine 90 mL peptonlu su ile edilmiştir. Yaklaşık 2-3 dakika stomacher cihazında (VWR Star Blender LB 400) homojenize edildikten sonra elde edilen 10^{-1} oranındaki solüsyondan, 10^{-5} oranına kadar seyreltilmiştir. Elde edilen her dilüsyondan 0,1 mL alınarak yayma plak yöntemi ile ekim yapılmıştır. Ortamdaki toplam maya miktarını belirlemek için DRBC (Dichloran Rose Bengal Chloramphenicol- MERCK) agar besiyeri kullanılarak 25 °C 'de 4-5 gün; toplam mezofil aerob bakteri miktarını belirlemek için PCA (Plant Count Agar- MERCK) besiyeri kullanılarak 30 °C 'de 48 saat; laktik asit bakterileri (LAB) miktarını belirlemek için MRS (De Man, Rogosa and Sharpe- MERCK) agar kullanılarak 30°C 'de 72 saat inkübasyona bırakılmıştır. Inkübasyon sonrası petri kaplarında oluşan koloniler sayılarak örneklerdeki mikrobiyal yük tespit edilmiştir.

2.2.4. Duyusal Analizler

Mantar turşusu örneklerinde 40. gün sonrasında duyusal analizleri Ova (2002) çalışmasında kullanılan duyusal analiz formu revize edilerek kullanılmıştır. Analiz sırasında renk, koku, görünüş, doku beğenisi, gevreklik oranı, tuzluluk oranı, sirke oranı ve genel beğeni gibi özellikler 10 kişilik panelist tarafından lezzet profil analizi olarak değerlendirilmiştir.

2.2.5. Ekstraksiyon İşlemi

Taze ve turşu formundaki mantarlardan 10 'ar gram alınıp, blender ile tamamen homojen hale getirildikten sonra, 50 mL %80 etanol-su çözeltisi ile 25°C 'de çalkalayıcıda 2 saat boyunca ekstraksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Hidroalkolik ekstraktlar filtre kağıdından (Whatman no:1) süzülüş ve 4000 rpm 'de (dev/dak) 25 °C 'de 10 dakika boyunca santrifüjlenmiştir (Hettich 320R, Almanya). Süpernatant toplanarak, analizleri gerçekleşinceye kadar -18°C 'de muhafaza edilmiştir.

2.2.6. Toplam Fenolik Madde Miktarı Analizi

Mantar ekstraktlarının toplam fenolik madde miktarı Folin Ciocalteu (FC) reaktifi kullanılarak belirlenmiştir (Singleton ve ark., 1999). Gallik asit referans standart olarak seçilmiştir. 0.5 mL ekstrakt 2.5 mL FC reaktifi (0.2 N) eklenmiştir. Sonrasında 2 mL %7.5 Na_2CO_3 ilave edilmiştir. Hazırlanan karışım oda sıcaklığında karanlık bir ortamda 30 dakika bekletildikten sonra, örneklerin absorbans değerleri spektrofotometre (Shimadzu 150 UV-1800 spektrofotometre, Japonya) kullanılarak 760 nm 'de ölçülmüştür. Sonuçlar 0.0025-0.1 mg/ mL lineer aralıkta mg Gallik Asit Eşdeğeri (GAE) /100 g kuru madde (KM) şeklinde verilmiştir.

2.2.7. Toplam Flavonoid Madde Miktarı Analizi

Mantar ekstraktlarının toplam flavonoid madde miktarı AlCl_3 metodu kullanılarak belirlenmiştir (Zhishen ve ark., 1999). 1 mL ekstrakt üzerine 4 mL distile su ilave edilmiş ve üzerlerine 0.3 mL %5' lik NaNO_2 çözeltisinin eklenmesinin ardından 5 dakika inkübasyon gerçekleştirilmiştir. Ardından tüplere 0.3 mL %10 'luk AlCl_3 çözeltisi eklenmiş ve 1 mL 1 M NaOH çözeltisi eklenerek son hacim 10 mL ye distile su ile tamamlanmıştır. Reaksiyon tüplerindeki örneklerinin absorbansı 510 nm 'de spektrofotometrede (Shimadzu 150 UV-1800 spektrofotometre, Japonya) gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar 0.01-0.2 mg/ mL lineer aralıkta mg Kateşin Eşdeğeri (CAE) /100 g kuru madde (KM) şeklinde verilmiştir.

2.2.8. ABTS+ Radikali Yakalama Aktivitesi Analizi

ABTS (2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolin-6-sülfonik asit) radikal yakalama aktivitesi Re ve ark. (1999) 'na göre gerçekleştirilmiştir. ABTS radikal katyonu, ABTS stok çözeltisinin (7mM) 2.45 mM potasyum persülfat çözeltisi ile karıştırılması ve karışımın kullanımdan önce 16 saat boyunca oda sıcaklığında karanlıkta bekletilmesiyle hazırlanmıştır. Ölçümler için stok çözeltisi 734 nm 'de 0.700 'lük bir absorbansa gelene kadar saf su ile seyreltilmiştir. 0.1 mL ekstrakta, 2 mL ABTS çözeltisi eklendikten sonra 6 dakika karanlıkta bekletildikten sonra, örneklerin absorbans değerleri spektrofotometre (Shimadzu 150 UV-1800 spektrofotometre, Japonya) kullanılarak 734 nm 'de ölçülmüştür. Sonuçlar, standart Troloks'un 40-599 μM lineer aralıkta μmol Troloks Eşdeğeri (TE)/ g kuru madde (KM) şeklinde verilmiştir.

2.2.9. DPPH Serbest Radikali Yakalama Aktivitesi Analizi

2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) serbest radikal yakalama aktivitesi Brand-Williams ve ark. (1995) 'na göre gerçekleştirilmiştir. 100 µL ekstrakt, 4.9 mL DPPH metanol çözeltisi (0.1 mM) ile karıştırılıp, karışım oda sıcaklığında ve karanlıkta 20 dakika bekletilmiştir. Reaksiyon tüplerindeki örneklerinin absorbansı 517 nm 'de spektrofotometrede (Shimadzu 150 UV-1800 spektrofotometre, Japonya) gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, standart Troloks'un 100-1599 µM lineer aralıkta µmol Troloks Eşdeğeri (TE)/ g kuru madde (KM) şeklinde verilmiştir.

2.2.10. Bakır (II) İyonu İndirgeyici Antioksidan Kapasitesi (CUPRAC) Analizi

Apak ve ark., (2004) tarafından gerçekleştirilen CUPRAC analiz yöntemine göre; her bir çözeltiden 1'er mL olmak üzere sırasıyla; CuCl₂ (0.01 M), neokuprin (7.5 mM) ve 1 M amonyum asetat tampon (pH 7.0) çözeltileri ilave edilmiş ve 0.1 mL ekstrakt, 1 mL saf su eklenerek toplam hacim 4.1 mL 'ye tamamlanmıştır. Ekstraktlar oda sıcaklığında ve karanlıkta 1 saat inkübe edilmiştir. Absorbans okumaları 450 nm 'de ölçülmüştür. Sonuçlar, standart Troloks'un 100-1599 µM lineer aralıkta µmol Troloks Eşdeğeri (TE)/ g kuru madde (KM) şeklinde verilmiştir.

2.2.11. İstatistik Analizleri

Çalışmada kullanılan ekstraktlar üç tekerrürlü olarak hazırlanmış, sonuçlar ise ortalama ± standart sapma şeklinde verilmiştir. Örnekler arasındaki farklılığın önemi tek yönlü ANOVA analizi ile değerlendirilmiştir ve DUNCAN analizi ile çoklu karşılaştırma testi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, SPSS programı (SPSS 17.0, USA) kullanılmıştır. Laktik asit bakterileri ve biyoaktif bileşenler arasındaki (fenolik madde) ilişki ise korelasyon analiziyle belirlenmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Mantar Turşusunun Depolama Sürecindeki Bazı Fizikokimyasal Değişimler

Geleneksel yöntem ile üretilen mantar turşusu örneklerinin depolama sürecindeki pH, titrasyon asitliği, tuz miktarı ve kuru madde değerlerindeki değişimler Tablo 1'de verilmiştir. Taze ve haşlanmış mantarın pH değerleri sırasıyla 6.51 ve 7.30 iken fermentasyon süresince mantarın pH değerleri 3.50-3.62 arasında değişmiştir. Titrasyon asitliği analiz sonuçları taze mantarda %0.32 g iken yine fermentasyon süresince mantarın asitliği %0.65-0.93 aralığında değişmektedir.

Tuz miktarı en yüksek %5.09 olarak fermentasyonun 2. gününde saptanmış ve fermentasyon süresinin ilerlemesi ve ortamda gelişebilen mikroorganizmalar sayesinde tuz miktarı %2.87'a düşmüştür ve aralarındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (p<0.05). Tabiolo ve MaribethSy (2018) tarafından yapılan çalışmada, istiridye mantar turşusu 3 farklı formülasyon ile hazırlanmış ve gerekli fizikokimyasal özellikleri saptanmıştır. Bu doğrultuda mantar turşusunun kuru madde miktarları %11.2-22.9 aralığında, pH değerleri 3.89-4.01 aralığında bulunmuştur. Khaskheli ve ark. (2017) tarafından yapılan çalışmada Shiitake mantar turşusu iki farklı formülasyonda hazırlanmış ve fizikokimyasal özelliklerin ne kadar etkilendiği belirlenmiştir. 20 günlük fermentasyon sonrası mantar turşularının pH değeri 2.82 ve 3.92, titrasyon asitliği ise %0.70 ve %0.93 olarak saptanmıştır. Diğer bir çalışmada mantar turşusu için starter kültürler kullanılmış ve fermentasyonun 1 hafta sonrası pH değerleri 3.6 (*Lactobacillus plantarum* Ib) ve 3.75 (*L. plantarum* 299v) olarak 43 gün boyunca sabit kalmıştır (Jabłońska-Ryś ve ark., 2016a). Bu araştırma sonuçlarında belirlenen pH, titrasyon asit değerlerine bakıldığında turşu üretim sürecindeki değişim literatür ile uyumluluk göstermektedir. Turşuya eklenen tuzun konsantrasyonu da önem arz etmekte ve mantarın tat, lezzetini geliştirmesinin yanısıra; fermentasyon boyunca baskın mikrobiyotayı da etkilemektedir.

Tablo 1. Fermentasyon süresince mantar turşusundaki fizikokimyasal değişimler

Süre (Gün)	pH	Titrasyon asitliği (g laktik asit /100 g)	Tuz miktarı (g /100 g)	Kuru madde (%)
Taze mantar	6.51±0.01 ^e	0.32±0.02 ^b	0.28±0.01 ^a	12.22±0.46 ^a
Haşlanmış mantar (0)	7.30±0.07 ^b	0.08±0.01 ^a	0.61±0.06 ^b	12.71±0.01 ^b
2	3.57±0.01 ^b	0.85±0.04 ^e	5.09±0.05 ^g	19.55±0.14 ^e
9	3.62±0.01 ^c	0.87±0.01 ^e	3.71±0.05 ^f	21.62±0.29 ^f
18	3.61±0.02 ^c	0.79±0.01 ^d	3.30±0.04 ^e	19.38±0.21 ^e
28	3.58±0.01 ^b	0.65±0.04 ^c	3.05±0.02 ^d	17.67±0.23 ^d
40	3.50±0.02 ^a	0.93±0.03 ^f	2.87±0.08 ^c	15.56±0.24 ^c

. ^{a-f} Aynı sütundaki farklı harfler istatistiksel istatistiksel farklılığın önemli olduğunu gösterir (p<0.05)

3.2. Mantar Turşusunun Depolama Sürecindeki Toplam Fenolik, Flavonoid Madde Miktarları ve Antioksidan Kapasitelerindeki Değişimler

Çalışmada kullanılan mantar turşusunun toplam fenolik, flavonoid madde miktarları ve antioksidan aktiviteleri Tablo 2'de verilmiştir. Toplam fenolik ve flavonoid madde miktarları açısından en yüksek miktarlar taze mantarda sırasıyla 188.73 mg GAE /100 g KM ve 118.81 mg CAE /100 g KM olarak belirlenmiştir. Mantarların haşlanması ile mevcut fenolik madde

miktarlarında düşüş saptanmış ve fermentasyonun 18. gününde en düşük miktarda fenolik madde (20.41 mg GAE /100 g KM) belirlenmiştir. Taze (118.81 mg CAE /100 g KM) ve haşlanmış (114.52 mg CAE /100 g KM) mantarlardaki flavonoid madde miktarları arasında istatistiksel olarak önemli bir fark bulunmamıştır (p>0.005). Jabłońska-Ryś ve ark., (2016b) tarafından yapılan çalışma bizim çalışmamıza benzer bir eğilim göstermiş ve taze mantardaki (*Pleurotus ostreatus*) fenolik madde miktarı (2.10 mg GAE /g KM), haşlanmış mantardaki fenolik madde miktarına (1.24 mg GAE/ g KM) kıyasla

Tablo 2. Fermentasyon süresince mantar turşusunun biyoaktif özelliklerindeki değişimler

Süre (Gün)	Toplam Fenolik Madde Miktarı	Toplam Flavonoid Madde Miktarı	DPPH	CUPRAC	ABTS
Taze mantar	188.73±3.35 ^c	118.81±5.96 ^d	14.80±0.26 ^e	22.31±1.04 ^e	7.72±0.44 ^c
Haşlanmış mantar (0)	33.65±1.44 ^b	114.52±2.19 ^d	7.20±0.05 ^a	18.93±0.84 ^d	2.29±0.25 ^b
2	34.86±2.12 ^b	105.46±2.71 ^c	7.86±0.49 ^{ab}	15.55±1.16 ^c	2.33±0.26 ^b
9	21.52±1.68 ^a	81.66±2.76 ^a	9.18±0.36 ^c	13.93±0.14 ^b	2.02±0.28 ^b
18	20.41±2.68 ^a	93.14±5.41 ^b	8.34±0.04 ^b	10.67±0.35 ^a	1.94±0.21 ^b
28	34.79±1.52 ^b	99.02±3.09 ^{bc}	10.27±0.73 ^d	19.19±1.02 ^d	2.38±0.27 ^b
40	36.11±2.68 ^b	84.75±3.68 ^a	9.33±0.38 ^c	14.07±0.77 ^b	1.40±0.15 ^a

*Toplam fenolik madde miktarı mg GAE/100g kuru madde, toplam flavonoid madde miktarı mg CAE/100g kuru madde, DPPH, CUPRAC ve ABTS antioksidan tayin yöntemleri µmol TE/g kuru madde cinsinden verilmiştir. ^{a-c} Aynı sütundaki farklı harfler istatistiksel farklılığın önemli olduğunu gösterir (p<0.05).

istatistiksel olarak önemli (p<0.05) bir azalış gösterdiği ancak probiyotik suşla fermente edilen mantardaki fenolik madde miktarı (1.23-1.27 mg GAE /g KM aralığında), haşlanmış mantardaki fenolik madde miktarına kıyasla hafif, ancak istatistiksel olarak anlamlı olmayan (p>0.05) bir artış rapor edilmiştir. Diğer bir çalışmada benzer şekilde farklı bölgelerde yetişen taze mantar türlerinin fenolik ve flavonoid madde miktarları sırasıyla 1.43- 4.46 mg GAE /g KM ve 0.64 -2.31 mg CAE /g KM aralıklarında bulunmuştur (Li ve ark., 2019).

Deb ve ark., (2018) tarafından yapılan çalışmada, istiridye mantar turşusundaki toplam fenolik ve flavonoid madde miktarlarını sırasıyla; 23.4 mg GAE /g örnek ve 1.4 mg CAE /g örnek olarak bildirmişlerdir ve bizim değerlerden yüksek çıktığı, dolayısıyla; mantar türüne, hasat zamanına, iklim koşullarına, farklı ekstraksiyon metodu ve solvent kullanımına bağlı olarak değişebileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Aynı şekilde taze mantarın antioksidan aktiviteleri haşlanmış ve turşu formundaki mantarlara göre daha yüksek saptanmıştır. Fermentasyon süresince mantardaki DPPH radikal süpürme aktivitesi 7.86-10.27 µmol TE /g KM aralığında, ABTS radikal süpürme aktivitesi 1.40-2.38 µmol TE /g KM aralığında değişim göstermiştir. Fermentasyon süresince DPPH, CUPRAC ve ABTS yöntemleri arasında en iyi sonuç CUPRAC metodu ile saptanmıştır. Cu²⁺ iyonu serbest radikal oluşumunda rol alır, bakır iyonunun azalması, antioksidan potansiyeli yansıtan DPPH yönteminden farklı bir mekanizmaya işaret etmektedir. CUPRAC metodu; hem sulu hem de organik çözücüler içinde çözünür olduğundan, özütlerin hem hidrofilik hem de lipofilik antioksidan kapasitesini ölçebilir, DPPH ise yalnızca organik çözücüde çözünmüş bir radikal kullanır ve bu nedenle hidrofobik sistemler için daha uygundur (Capanoglu ve ark., 2018). Yine fermentasyonun süresinin başlaması ile taze mantara göre turşudaki antioksidan kapasitelerde (DPPH, CUPRAC ve ABTS) düşüş gözlemlenmiş ancak fermentasyonun 28.gün sonrası artış saptanmıştır. Jabłońska-Ryś ve ark., (2016a) tarafından yapılan çalışma bizim çalışmamıza benzer bir eğilim göstermiş ve taze mantardaki DPPH antioksidan değeri (16.25 µmol TE /g KM), haşlanmış mantardaki DPPH antioksidan değeri (16.25 µmol TE /g KM) kıyasla istatistiksel olarak önemli (p<0.05) bir azalış rapor edilmiştir. Aynı çalışmada bizim çalışmamıza kıyasla fermente mantarlardaki biyoaktif bileşen miktarları daha yüksek bulunmuş ve fermente mantarların fenolik madde ve DPPH antioksidan değerleri sırasıyla 3-3.5 mg GAE /g ve 10-15 µmol TE /g aralıklarında değişmiştir. Bu

durum farklı probiyotik LAB bakterilerin turşulara eklenmesi ve biyoaktif bileşen miktarlarını daha çok arttırması, bizim çalışmamızda ise geleneksel turşu üretiminin yapılması, ve herhangi bir starter kültür eklenmemesi, dolayısıyla doğal olarak LAB 'lerin gelişmesi ile biyoaktif bileşen miktarlarını daha az arttırması açıklanabilir.

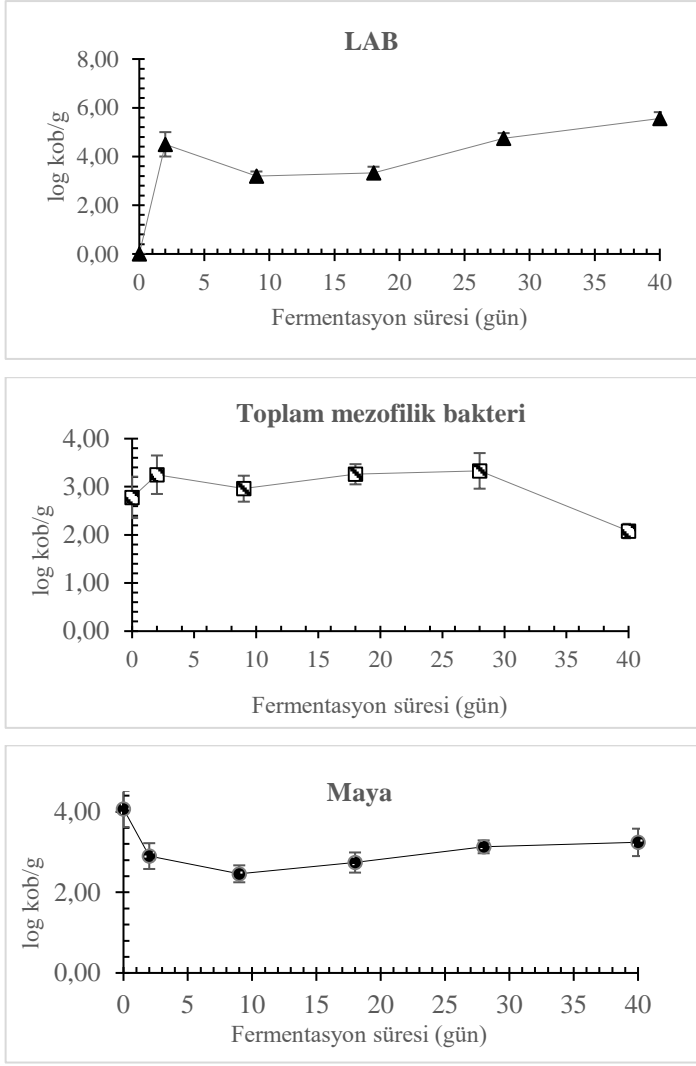
Diğer bir çalışmada, *Auricularia auricula* mantarı ile geleneksel turşu üretimi sağlanmış, taze mantara kıyasla fermentasyon işleminde ABTS antioksidan değerleri daha düşük çıkmıştır. Bu durumda bizim çalışmamızda olduğu gibi fermentasyon öncesi haşlama işleminin gerçekleşmesi ile başlangıçtaki ABTS antioksidan değerini yakalayamadığı görülmüştür (Khaskheli ve ark., 2015a). Genel olarak meyve ve sebzelerin fermentasyonu için starter kültür ilavesi, taze örnekteki fenolik madde ve antioksidan aktivite değerlerini mevcut sürdürmesine veya daha çok arttırmasına olanak sağladığı, spontane fermentasyonun ise taze örneklerdeki biyoaktif bileşenleri daha az arttırdığı ayrıca fermentasyon işlemi, meyve ve sebzedeki serbest fenolik asitleri ve liflerden salınan bağlı fenolik asitleri de aktivite edebileceği önceki çalışmalarla da bildirilmiştir (Septembre-Malaterre ve ark., 2017; Filannino ve ark., 2015).

3.3. Mantar Turşusunun Depolama Sürecindeki Mikrobiyolojik Değişimler

Şekil 2 'de mantar turşusunun fermentasyon süresince mikrobiyolojik değişimleri verilmiştir. LAB sayısına taze ve haşlanmış (0. gün) mantarlarda rastlanmaz iken, fermentasyonun 2. gününde gelişmeye başlamış ve 3.20 ile 5.56 log kob /g aralığında değişim göstermiştir.

Toplam maya sayısı; haşlanmış mantarda (0. gün) 4.07 log kob/ g iken, maya gelişimi fermentasyon süresince kısmi azalışa geçerek 2.94 ile 3.24 log kob/ g aralığında değişim göstermiştir. Toplam mezofilik bakteri sayısı haşlanmış ve fermentasyon süresince mantarlarda sırasıyla, 2.78 log kob/ g ve 2.08 ile 3.33 log kob/ g aralıklarında değişmiştir.

Zheng ve ark., (2017) tarafından yapılan çalışmada, canlı LAB, istiridye mantarının fermentasyon başlangıcında hızla artmış ve ardından kademeli olarak azalmıştır. Haşlanmış istiridye mantarındaki ilk LAB popülasyonu düşük (5.3 log kob /g), bu da 2 gün içinde yaklaşık 9.0 log kob /g gibi yüksek bir düzeye yükseldi ve son üründe (30. gün) LAB sayısı yaklaşık 7.5 log kob /g olarak saptanmış ve bu değerler bizim çalışmamıza kıyasla daha yüksek çıkmıştır. Bu durum, farklı tür mantar kullanılması, farklı fermentasyon proseslerin kullanılması ve

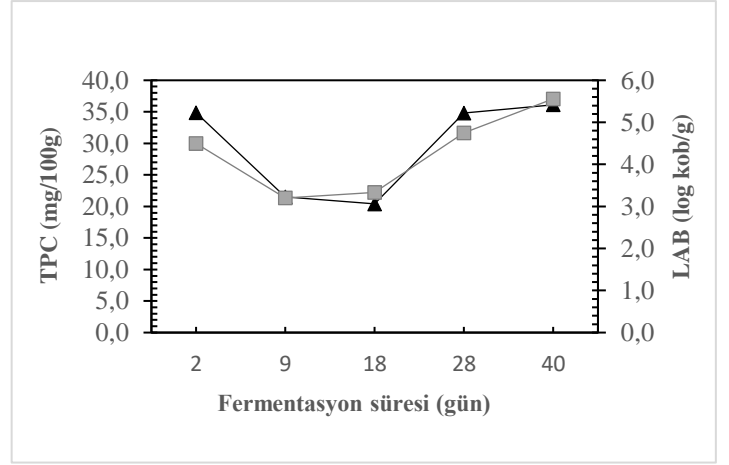


Şekil 2: Fermentasyon süresince mantardaki mikrobiyolojik değişimler

fermentasyon için starter kültür ilave edilmesi ile LAB sayısında daha fazla artış sağlanması ile açıklanabilir.

Şekil 3 'de fermentasyon süresince mantar örneklerinin toplam fenolik madde miktarında değişimi görülmekte ve dolayısıyla bu biyoaktif bileşen miktarı ile laktik asit bakteri sayısı orantılı olarak değiştiğini göstermektedir. Korelasyon analizi sonucunda, fenolik madde miktarı ile LAB arasında yüksek bir pozitif ilişki (korelasyon katsayısı: 0.881) olduğu ve bu ilişki istatistiksel olarak anlamlı çıkmıştır.

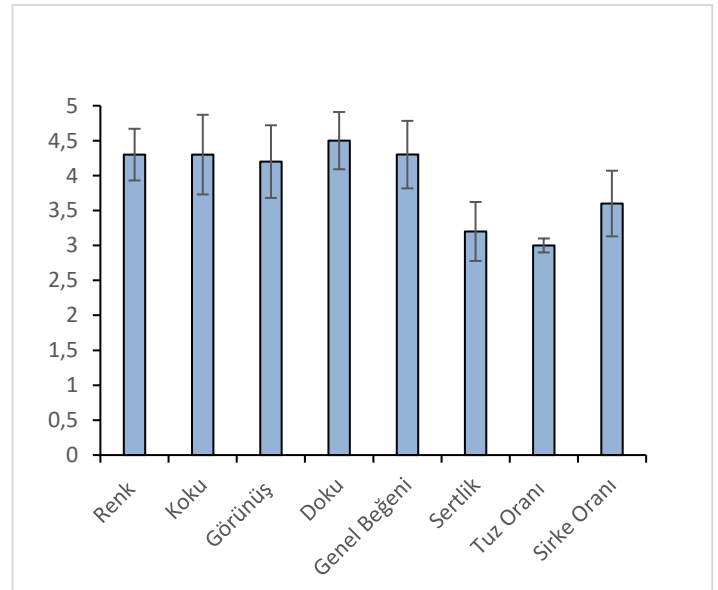
Laktik asit bakterileri ile fenolik bileşikler arasındaki ilişki farklı şekillerde ortaya çıkabilmektedir. Bu ilişki, mekanizması tam olarak anlaşılammış olmakla birlikte, LAB 'nin özellikle de *Lactobacillus plantarum*'un bazı gıda fenolik bileşiklerini biyosentezleyebilmekte veya parçalayabilmektedir. Dolayısıyla, fenolik bileşikler sentezlemesi ya da metabolize etmesi ile fenolik bileşiklerin bulunduğu ortamlarda inhibe/aktive olması şekillerinde olabilmektedir (Okcu ve ark., 2011). Dolayısıyla, haşlama işlemi mantardaki biyoaktif bileşenlerin kaybına yol açsada, fermentasyon süresince bu bileşenler genel olarak korunduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3: Fermentasyon süresince mantardaki fenolik madde miktarı (TPC) ile laktik asit bakterisi (LAB) sayısı arasındaki korelasyon grafiği

3.4. Mantar Turşusunun Duyusal Analiz Profili

Mantar turşusu örneğinin 40 günlük raf ömrü sonrası duyu analizi sonuçları Şekil 4 'de verilmiştir. Şekilde de görüldüğü üzere 5 puanlık bir skaladan turşunun rengi, kokusu ve dokusu bakımından sırasıyla 4.30, 4.35 ve 4.50 olarak değerlendirildi. Mantar turşusunun tuz ve sirke oranları 3-4 puan aralığında değerlendirildi. Bir çalışmada, ticari işletmelerden alınan mantar turşularının duyu analizi profilleri 4 tam puan üzerinden belirlenmiştir ve genel beğenide en yüksek puanı kanlıca mantarı turşusu (2.86) olmasına rağmen istatistiksel açıdan belirgin bir farklılık tespit edilmemiştir ($p>0.05$). Panelistler tarafından; kanlıca, siğirdili ve şapkalı mantar turşuları sırası ile %87, %80 ve %67 oranlarında duyu analizi olarak kabul edilmiştir. Sertlik bakımından mantar turşuları 2.14-3.00 puan aralığında değerlendirilmiş ve bizim çalışmamız ile aynı eğilim görülmüştür (Gürgen ve ark., 2019).



Şekil 4: Mantar turşusunun duyu analizi değerlendirilmesi

Deb ve ark. (2018) tarafından yapılan çalışmada, mantar turşusu 12 ay boyunca depolanmış ve 9 puanlık bir değerlendirme sonucu turşunun tat, renk ve genel beğeni skorları 6.97, 7.37 ve 7.66 olarak belirlenmiştir. Böylece istiridye mantar turşusu formülasyonunun oda sıcaklığında en az 12 ay raf

ömrüne sahip olduğu ve genel olarak kabul edilebilirliğinde yüksek olduğu bildirilmiştir. Diğer bir çalışmada ise, farklı starter kültür ilavesi (*L. plantarum* Ib, *L. plantarum* 299v) ile mantar fermentasyona tabii tutulmuştur. 2 farklı formülasyon ile hazırlanan mantar turşusunun tekstürleri ortalama 5.00 olarak değerlendirilmiştir. Renk ve tat skorları 4.3-4.5 ve 4.00-5.00 aralıklarında tespit edilmiştir (Jabłońska-Ryś ve ark. 2016a). Bizim çalışmamızla kıyasladığımızda tat, genel beğeni bakımından benzer bir eğilim gösterdiği, dolayısıyla starter kültür ilavesi renk ve tat bakımından fazla bir değişikliğe yol açmamış, ancak turşu tekstürüne daha çok iyileştirdiği söylenebilir.

4. Sonuç

Bu çalışmada Kastamonu ilinden taze olarak toplanan kanlıca mantarından (*Lactarius deliciosus*) turşu üretimi

Kaynakça

Apak, R., Güçlü, K., Özyürek, M. & Karademir, S.E. (2004). Novel total antioxidant capacity index for dietary polyphenols and vitamins C and E, using their cupric ion reducing capability in the presence of neocuproine: CUPRAC Method. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52, (26), 7970–7981. Doi:10.1021/jf048741x

Bernas, E. & Jaworska, G. (2012). Effect of preservation method on amino acid content in selected species of edible mushroom. *LWT-Food Science and Technology*, 48, 242-247. Doi:10.1016/j.lwt.2012.03.020

Bernas E., Jaworska G. & Kmiecik W. (2006). Storage and processing of edible mushrooms., *Acta Science Pol., Technol. Aliment.*, 5 (2), 5-23.

Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E. & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28, (1), 25–30. Doi:10.1016/S0023-6438(95)80008-5

Capanoglu, E., Kamiloglu, S., Ozkan, G. & Apak, R. (2018). Evaluation of antioxidant activity/capacity measurement methods for food products. Measurement of Antioxidant Activity and Capacity: *Recent Trends and Applications*. Apak, R., Capanoglu, E. & Shahidi, F. (Eds.), *Chicester, United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd*, 273-286.

Campbell-Platt, G. (2014). Fermented foods-origins and applications. *Reference Module in Food Science Encyclopedia of Food Microbiology* (Second Edition), 834-838. Doi:10.1016/B978-0-12-384730-0.00114-2

Cemeroğlu, B.S. (2013). Gıda Analizleri, 3.baskı, Ankara, Bizim Grup Basımevi.

Deb U., Jagannath A., Anilakumar K.R., Chatterjee M. & Chatterjee S. (2018). Nutritional Studies and Antioxidant Profile of Pickled Oyster Mushrooms of North Esat India. *Defence Life Science Journal*, 3, 1, 64-70. Doi:10.14429/dlsj.3.12157

Demirgöl, F. & Sağdıç, O. (2017). Laktik starter kültür üretim teknolojisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7 (11), 27-37.

Demirgöl, F. & Sağdıç, O. (2018). Fermente Süt Ürünlerinin İnsan Sağlığına Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 13, 45-53. Doi:10.31590/ejosat.377798

DiCagno, R., Coda, R., De Angelis, M. & Gobbetti, M. (2013). Exploitation of vegetables and fruits through lactic acid fermentation. *Food Microbiology*, 33, 1–10. Doi:10.1016/j.fm.2012.09.003

gerçekleştirilmiş ve 40 gün süreyle fermentasyona bırakılmış, meydana gelen bazı fizikokimyasal, mikrobiyolojik, duyuşsal ve biyoaktif bileşen özellikler saptanmıştır. Turşu üretimi öncesi haşlama işleminde uygulanan sıcaklığa bağlı olarak mantarlardaki fenolik madde ve antioksidan aktivite miktarlarında istatistiksel olarak önemli ($p<0.05$) azalış olsa da, fermentasyon süresince biyoaktif bileşen miktarlarında ya artış saptanmış ya da bu bileşenler; ortama LAB 'in hakim olmasıyla korunmuştur. Farklı yabancı mantar turşularına verilen önemin daha çok arttırılması gerekmektedir. Bu durumda, hem mevsimsel engeller ortadan kalkmış olacak hem de mantarlar istenilen bir vakitte tüketilebilecektir. Türkiye diğer gıdalar bakımından olduğu gibi yabancı mantar açısından da bir hayli zengindir. Dolayısıyla besin değerleri ve beğeni düzeyleri yüksek olan bu tip gıdaların daha çok üretilmesi, yeni teknik ve formülasyonlarla üretimin gelecek çalışmalarla desteklenmesi, böylece ülke ekonomisine katkı sağlanması önerilmektedir.

Falandysz, J. (2016). Mercury accumulation of three *Lactarius* mushroom species. *Food Chemistry*, 214, 96-101. Doi:10.1016/j.foodchem.2016.07.062

Filannino, P., Bai, Y., Di Cagno, R., Gobbetti, M. & Ganzle, M. G. (2015). Metabolism of phenolic compounds by *Lactobacillus* spp. during fermentation of cherry juice and broccoli puree. *Food Microbiology*, 46, 272–279.

Ganguli A., Ghosh M. & Singh N. (2008). Antioxidant activities and total phenolics of pickles produced from the edible mushroom *Agaricus bisporus*. *Journal of Culinary Science and Technology*, 5:2-3, 131-142. Doi:10.1300/J385v0502_11

Guillamón, E., García-Lafuente, A., Lozano, M., D'Arrigo, M., Rostagno, M. A. & Villares, A. (2010). Edible mushrooms: Role in the prevention of cardiovascular diseases. *Fitoterapia*, 81, 715–723. Doi: 10.1016/j.fitote.2010.06.005

Gürgen, A., Değirmenci, A., & Yıldız, S. (2019). Bazı Yabancı ve Kültür Mantarı Turşularının Duyuşsal Analizleri. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9, (1), 302-309. Doi: 10.21597/jist.463601

Hearst, R., Nelson, D., McCollum, G., Millar, B. C., Maeda, Y. & Goldsmith, C. E. (2009). An examination of antibacterial and antifungal properties of constituents of shiitake (*Lentinula edodes*) and oyster (*Pleurotus ostreatus*) mushrooms. *Complementary Therapies in Clinical Practice*, 15, 5–7. Doi:10.1016/j.ctcp.2008.10.002

Jabłońska-Ryś, E., Sławińska, A., Radzki, W. & Gustaw, W. (2016a). Evaluation of the potential use of probiotic strain *Lactobacillus plantarum* 299v in lactic fermentation of button mushroom fruiting bodies. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 15, (4), 399-407. Doi:10.17306/J.AFS.2016.4.38

Jabłońska-Ryś, E., Sławińska, A. & Szwajgier, D. (2016b). Effect of lactic acid fermentation on antioxidant properties and phenolic acid contents of oyster (*Pleurotus ostreatus*) and chanterelle (*Cantharellus cibarius*) mushrooms. *Food science and biotechnology*, 25, (2), 439-444. Doi:10.1007/s10068-016-0060-4.

Jabłońska-Ryś, E., Skrzypczak, K., Sławińska, A., Radzki, W. & Gustaw, W. (2019). Lactic acid fermentation of edible mushrooms: tradition, technology, current state of research: a review. *Institute of Food Technologists*, 18, 655-669. Doi:10.1111/1541-4337.12425

- Jaworska, G., Bernas, E. & Mickowska, B. (2011). Effect of production process on the amino acid content of frozen and canned *Pleurotus ostreatus* mushrooms. *Food Chemistry*, 125, 936–943. Doi:10.1016/j.foodchem.2010.09.084
- Kalogeropoulos, N., Yanni, A. E., Koutrotsios, G. & Aloupi, M. (2013). Bioactive microconstituents and antioxidant properties of wild edible mushrooms from the island of Lesvos, Greece. *Food and Chemical Toxicology*, 55, 378–385. Doi:10.1016/j.fct.2013.01.010
- Khaskheli A.A., Khaskheli S.G., Liu Y., Sheikh S.A., Wang Y.F., Soomro A.H., Xiaobo D., Homaida M.A., Tian X. & Huang W. (2017). Analysis of physicochemical, antioxidant properties and sensory characteristic of Shiitake mushroom pickles. *Journal of Food and Nutrition Research*, 5, (8), 562-568. Doi:10.12691/jfnr-5-8-5.
- Khaskheli, S.G., Zheng, W., Sheikh, S.A., Khaskheli, A.A., Liu, Y., Soomro, A.H., Feng, X., Sauer, M.B., Wang, Y.F. & Huang, W. (2015a). Characterization of *Auricularia auricula* polysaccharides and its antioxidant properties in fresh and pickled product. *International Journal of Biological Macromolecules*, 81, 387-395. Doi:10.1016/j.ijbiomac.2015.08.020
- Khaskheli, S.G., Zheng, W., Sheikh, S.A., Khaskheli, A.A., Liu, Y., Wang, Y.F. & Huang, W. (2015b). Effect of processing techniques on the quality and acceptability of *Auricularia auricularia* mushroom pickle. *Journal of Food and Nutrition Research*, 3, (1), 46-51. Doi:10.12691/jfnr-3-1-8.
- Li, J.M., Liang, H.Q., Qiao, P., Su, K.M., Liu, P.G., Guo, S.X. & Chen, J. (2019). Chemical composition and antioxidant activity of *Tuber indicum* from different geographical regions of China. *Chemistry of Biodiversity*, 16, e1800609. Doi:10.1002/cbdv.201800609
- Liu, Y., Xie, X.X., Ibrahim, S.A., Khaskheli, S.G., Yang, H., Wang, Y. & Huang, W. (2016). Characterization of *Lactobacillus pentosus* as a strater culture for the fermentation of edible oyster mushrooms (*Pleurotus* spp.). *LWT Food Science and Technology*, 68, 21-26. Doi: 10.1016/j.lwt.2015.12.008
- Mathew, J., Sudheesh, N. P., Rony, K. A., Smina, T. P. & Janardhanan, K. K. (2008). Antioxidant and antitumor activities of cultured mycelium of culinary – medicinal paddy straw mushroom *Volvariella volvacea* (Bull.: Fr.) singer (*Agaricomycetidae*). *International Journam of Medical Mushrooms*, 10, 139–147.
- Nitha, B., Strayo, D., Adhikari, S. K., Devasagayam, T. P. A. & Janardhanan, K. K. (2010). Evaluation of free radical scavenging activity of morel mushroom, *Morchella esculenta* mycelia: a potential source of therapeutically useful antioxidants. *Pharmaceutical Biology*, 48, 453–460.
- Okcü, G., Güneş Altundaş, E. & Ayhan, K. (2011). Laktik asit fermentasyonunda fenolik bileşikler ve önemi. *Ordu Üniversitesi Bilgi Teknolojileri Dergisi*, 1,1, 50-63.
- Ova G. (2002). Hıyar turşularında duyusal kalite karakteristiklerinin irdelenmesi. *Gıda*, 27, (4), 315-319.
- Park, K.Y., Jeong, J.K. & Lee, Y.E. (2014). Health benefits of kimchi (Korean fermented vegetables) as a probiotic food. *Journal Medicine Food* 17, 6–20.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M. & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26, (9-10), 1231-1237. Doi:10.1016/S0891-5849(98)00315-3
- Román, M. P. G., Mantilla, N. B., Flórez, S. A. C., De Mandal, S., Passari, A. K., Ruiz-Villafán, B., ... & Sánchez, S. (2020). Antimicrobial and antioxidant potential of wild edible mushrooms. *In An Introduction to Mushroom*. IntechOpen.
- Sağdıç, O., Karasu, S. & Göktaş, H. (2020). Piyasada satılan ticari propolis örneklerinin biyoaktif bileşenlerinin belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 19, 19-31. Doi:10.31590/ejosat.734204
- Septembre-Malaterre, A., Remize, F. & Pouchet, P. (2017). Fruits and vegetables, as a source of nutritional compounds and phytochemicals: Changes in bioactive compounds during lactic fermentation., *Food Research International*, 104, 86-99. Doi:10.1016/j.foodres.2017.09.031
- Singh, M.P., Sodhi, H.S. & Ranote, P.S. (2018). Optimization and storage studies of *A.bisporus* vinegar-oil pickle to utilize stipe as a value added product. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7, (12), 1676-1689. Doi:10.20246/ijcmas.2018.7.12.195
- Singleton, V.L., Orthofer, R. & Lamuela-Raventós, E. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *In Oxidants and Antioxidants Part A*, 299, 152–178. Academic Press. Doi:10.1016/S0076-6879(99)99017-1
- Smolskaite, L., Venskutonis, P.R. & Talou, T. (2015). Comprehensive evaluation of antioxidant and antimicrobial properties of different mushroom species. *LWT Food Science and Technology*, 60, 462-471. Doi:10.1016/j.lwt.2014.08.007
- Tabiolo C.D.L. & MaribethSy, (2018). Qualities and microbial properties of cultured oyster pickled mushroom (*Pleurotostreatus*). *International Journal of Current Research*, 10, 09, 73190- 73193. Doi: 10.24941/ijcr.32152.09.2018
- Uyulaşer, V. & Başoğlu, F. (2014). Temel Gıda Analizleri, 2.baskı, Ankara, Bizim Grup Basımevi.
- Xiamin, S., Enkhtaivan, G., Chun, S., Goğal, J. & Soo, Y.K. (2016). Transubstantiating commercial mushroom market with ultrasonically ultrasonized mushroom powders showcasing higher bioactivity. *Biological Macromolecules*, 92, 1082-1094. doi:10.1016/j.ijbiomac.2016.07.103
- Wang, L., Guo, H., Liu, X., Jiang, G., Li, C., Li, X. & Li, Y. (2019). Roles of Lentinula edodes as the pork lean meat replacer in production of the sausage. *Meat Science*, 156, 44-51. Doi:10.1016/j.meatsci.2019.05.016
- Zhang, N., Ju, Z. & Zuo, T. (2018). Time for food: the impact of diet on gut microbiota and human health. *Nutrition*, 51-52, 80–85. Doi:10.1016/j.nut.2017.12.005
- Zheng, H.G., Chen, J.C. & Ahmad, I. (2017). Preservation of king oyster mushroom by the use of different fermentation processes. *Food Processing and Preservation*, 42, e13396. Doi:10.1111/jfpp.13396
- Zheng, X.F., Yang, Z., Zhang, H., Jin, W.X., Xu, C.W., Gao, L., Rao, S.Q. & Jio, X. (2020). Isolation of virulent phages infecting dominant mesophilic aerobic bacteria in cucumber pickle fermentation. *Food Microbiology*, 86, 103-330. Doi:10.1016/j.fm.2019.103330
- Zhishen, J., Mengcheng, T. & Jianming, W. (1999). The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*, 64, (4), 555–559. Doi:10.1016/S0308-8146(98)00102-2



Assessment of the Interaction Between Space And Visitor In the Case of the *Cité De L'architecture Et Du Patrimoine*

Gözde Altıparmakoglu Sakarya^{1*}, Fehime Yeşim Gürani²

^{1*} Çukurova University, Faculty of Architecture, Department of Interior Architecture, Adana, Turkey, (ORCID: 0000-0002-8574-0758), galtiparmakoglu@cu.edu.tr

² Çukurova University, Faculty of Architecture, Department of Interior Architecture, Adana, Turkey, (ORCID: 0000-0002-5698-5289), ygurani@cu.edu.tr

(First received 28 November 2020 and in final form 17 January 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.832712)

ATIF/REFERENCE: Altıparmakoglu Sakarya, G., Gürani, Y. (2021). Assessment of the Interaction between Space and Visitor in the Case of the Cité de l'Architecture et du Patrimoine. *European Journal of Science and Technology*, (21), 341-357.

Abstract

This study discusses the interaction between space and humans and studies space in the case of architecture museums and humans in the case of museum visitors. Museums were determined as the topic of the study as they are one of the complex structural groups such as hospitals, shopping malls, airports and various public structures that allow many humans to interact with each other and with space. In this context, the numerous types of museums were further narrowed and the scope of the topic was reduced to the case of Architecture Museums. Compared to other types of museums, they are considered to address a wider audience and range of visitors because they are related to all types of spaces with which humans directly interact. The Cité de l'Architecture et du Patrimoine (Architecture and National Heritage Museum) museum in Paris was chosen as the field of study because of its spatial characteristics, the variety of items exhibited, visitor potential, size, spatial variety and the fact that it is one of the most recent architecture museums. The spaces identified in the field study conducted as part of this study were examined using the two main methods of onsite observation and space syntax methods. The spatial syntax analysis method was applied under two headings: permeability and visibility graph analysis. Permeability analysis were performed on permeability graphs created by Agraph software, and visibility graph analysis were performed by the connectivity, visual integration and coefficient clustering parameters on Depthmap software. Attempting to identify the effects of spatial setup on visitor behavior, the study aims to determine the features of the spatial setup that effect visitor behavior, examine the architectural and spatial characteristics of the architecture museum chosen as the field study and examine the interaction of such spatial qualifications with visitor behavior using space syntax analysis. As a conclusion of the analyses, it was observed that the permeability and visible area structures of the museum space, where fieldwork was conducted, overlapped to a great extent and it was found that spatial configuration leads to preferences in visitor behaviors.

Keywords: Museum of architecture, Cité de l'Architecture et du Patrimoine, Space syntax, Depthmap, Agraph

* Corresponding Author: galtiparmakoglu@cu.edu.tr

Mekân ve Ziyaretçi Arasındaki Etkileşimin Fransa Mimarlık ve Milli Miras Müzesi Özelinde Değerlendirilmesi

Öz

Mekân ve insan arasındaki etkileşimi konu edinen bu çalışmada; mekân, mimarlık müzeleri özelinde ele alınırken, insan da müze mekanının kullanıcıları özelinde ele alınmaktadır. Müzeler; hastaneler, alışveriş merkezleri, havaalanları ve çeşitli kamusal yapılar gibi çok fazla insanın birbirleriyle ve mekânla ilişki kurmasına olanak tanıyan kompleks yapı gruplarından biri olması sebebiyle çalışma konusu olarak belirlenmiştir. Bu bağlamda, çok sayıda müze türü arasından bir daraltmaya daha gidilerek konu kapsamı Mimarlık Müzeleri özeline indirgenmiştir. Mimarlık Müzelerinin diğer müze türleri içinde konusu gereği doğrudan insanların etkileşimde bulunduğu her türlü mekânla ilgili olduğundan, daha geniş bir kesime ve ziyaretçi kitlesine hitap ettiği düşünülmektedir. Mekânsal özellikleri, sergilenen ürünlerin çeşitliliği, ziyaretçi potansiyeli, büyüklüğü, mekânsal çeşitliliği, açılan en yeni mimarlık müzelerinden biri olması gibi gerekçelerle Paris'te bulunan Fransa Mimarlık ve Milli Miras Müzesi (Cité de l'Architecture Patrimoine) çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Çalışma kapsamında yapılan alan çalışmasında belirlenen mekânlar, yerinde gözlem ve mekân dizim analizi yöntemi olmak üzere iki ana yöntemle incelenmiştir. Mekan dizim analizi yöntemi, geçirgenlik ve görünür alan analizleri olmak üzere iki başlık altında uygulanmıştır. Geçirgenlik analizleri; Agraph yazılımı aracılığıyla oluşturulan erişim grafikleri üzerinden, görünür alan analizleri ise Depthmap yazılımı aracılığıyla bağlantılılık, görsel bütünleşme ve katsayı kümelenmesi parametreleri üzerinden yapılmıştır. Mekân kurgusunun ziyaretçi davranışı üzerindeki etkilerinin saptanması hedeflenen çalışmada ziyaretçilerin davranışlarını etkileyen mekânsal kurguya ait özellikleri tespit etmek, alan çalışması olarak belirlenen mimarlık müzesinin mimari ve mekânsal özelliklerini incelemek ve bu mekânsal niteliklerin ziyaretçi davranışı ile olan etkileşimini mekân dizim analizinden faydalanarak irdelemek amaçlanmıştır. Yapılan analizler sonucunda alan çalışması yapılan müze mekanının geçirgenlik ve görünür alan yapılarının büyük oranda örtüştüğü ve mekân kurgusunun ziyaretçilerin davranışlarında tercihlere sebep olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Mimarlık müzesi, Cité de l'Architecture et du Patrimoine, Mekan dizim analizi, Depthmap yazılımı, Agraph yazılımı.

1. Introduction

Museums are types of space with intense human-space interaction. The space establishes a very integrated relation with its users as it is given functions such as exhibition, combination and conveying information. The quality and value of the exhibited works, together with the spatial configuration and spatial organizations should have been established successfully in order for a museum space to convey information to its visitors in the most effective manner and to draw in visitors. It could be said that a space has suitable analyses if a visitor can tour it without much confusion, without concern over finding direction and without much effort to reach the desired work.

There are many museums with various types today. The collections of a museum are one of the main determinants in raising awareness. A museum is usually referred to with the type of works mostly contained in its space and the purpose for which it exhibits. As a type of museum, "Architecture Museums" can be considered as one of the museum architectures addressing the broadest audience. This is because everyone, regardless of age, gender, culture or profession establishes a relation with space and building. Also architecture museums can be quite attractive according to a very broad audience as they are set up to exhibit architectural works. Furthermore, a space aiming to exhibit and give information about good examples of architecture, would itself be expected to be a really well-functioning space in terms of its purpose and architectural design. The fact that it has intense human circulation due to its purpose, allows for establishing an intense relation regarding space-human interaction. Among the various architecture museums throughout the world, the Cité de l'Architecture et du Patrimoine in Paris is

a good example of this because of its location and for being the architecture museum with the highest number of visitors.

This study discusses the problem of assessing the interaction between visitor and space in the case of architecture museums and has chosen the *Cité de l'Architecture et du Patrimoine* as the space for its field study because it is the most recent architecture museum, the variety of exhibited works and the mode of exhibition and the intensity of visitors. The purpose of this study is to attempt to determine factor such as what type of social interaction is enabled by spatial configuration, design layout and inter-spatial relations in the interaction between space and visitor in the case of this museum space and to what extent does it have on visitor behaviors and their mode of experiencing the space. Additionally, attempt is made to set forth factors about this museum, which is the largest architecture museum in the world, such as its efficiency, to what extent it could be considered as a successful example and the positive/negative aspects of its impact on visitor behavior.

2. Material and Method

In the field study conducted in accordance with the specified problem, the ground floor of the *Cité de l'Architecture et du Patrimoine*, which hosts its permanent collections and the exhibition spaces on its 2nd floor were examined using the two methods of onsite observation and space syntax. First, in the onsite examination method, attempt was made to determine movement patterns by monitoring the behavioral patterns of visitors in the space, their inclinations and the relations they

established with the space using observation method by going to the museum space at specified days and times. The days for study at the museum, which is closed on Mondays and Tuesdays, were determined as Wednesday, Thursday and, as it was foreseen to be have higher visitor intensity, Saturday. As a result of observing the visitors on the specified days and times, the places of movement, visitor traces, their inclination tendencies, the total time visitors spent at spaces depending on their preferences, points of pause, the points they stopped when examining the works and the distances they travel in the space were first noted on the layout plan.

As the second method, the specified spaces were analyzed using the space syntax and visible area method, which, rather than just examining the physical properties of space, claims that a direct relation exists between space and the users of space, and is used to understand the relation between space and social life and to objectively read space with digital data. In this context, the Agraph software, which was developed based on the most basic measurements in space syntax was used to create the permeability and justified graphs and the Depthmap software was used for the other analyses due to its scope and suitability of its analysis types.

Visible area analysis is based on the visual perception of the observer moving in the space. In this context, the analyzes were evaluated on the parameters of connectivity, visual integration and clustering coefficient in order to determine the interaction between the space setup and the visitor. Because these parameters are directly related to the visual perception issues that occur in the user's mind depending on space configuration, the estimation of the movement and the rate of change in the perception of space.

2.1. The Cité de l'architecture et du Patrimoine

Known as the largest architecture museum in the world with an area of 23,000 square meter, the *Cité de l'Architecture et du Patrimoine* museum is located on one of the wings of the Chaillot Pallace in Paris (Figure 1). Built by Gabriel Davioud in 1878 as the Trocadero Palace, the structure became known as the Chaillot Palace after the renewal by Jacques Carlu in 1937. Gaining its most recent appearance with the renewal performed by Jean-François Bodin in 2007, the structure serves as a museum complex. In addition to the Architecture Museum, the structure also includes the Musée de la Marine (Maritime Museum) and the Musée de l'Homme (Human Museum).



Figure 1. *Cité de l'Architecture et du Patrimoine* (URL-1)

The museum collection is essentially based on French monuments. However, it also contains various galleries for modern and contemporary examples of architecture. With approximately 11,000 square meters allocated for exhibitions, the permanent exhibitions of the museum are as follows:

Cast gallery, Murals gallery, Stained glass gallery, Modern and contemporary architecture gallery

Consists of an identical copy of a flat from Cite Radieuse constructed by Le Corbusier in Marseilles (Figure 2). Also, exhibition areas at the basement floor hosts temporary exhibitions.





	<p>Gallery of Casts</p>
	<p>Gallery of Casts</p>
	<p>Gallery of Modern and Contemporary Architecture</p>
	<p>Le Corbusier Housing Unit</p>

Figure 2. *Cité de l'Architecture et du Patrimoine* exhibitions (Altıparmakoğlu Sakarya, G.)

Pursuant to the topic of the study, in order to be able to investigate the impact of spatial setup on visitor behavior, spaces such as administrative offices that are not open to visitor access and educational areas, the library, sales areas and the auditorium, where not much visitor circulation is observed, were excluded from the scope of the study. The study also excludes galleries allocated for temporary exhibitions, located in the basement floor and below in the museum, of which 11,000 square meters

are allocated to exhibition areas. The spatial setup of these spaces can vary as they are arranged for certain periods as specific to the current exhibition.

According to the observations conducted at the museum, the permanent exhibition areas (marked in blue in the Figure 3) located at the ground floor and the 2nd floor, where visitors are located most intensely, were determined as the spaces for conducting the field study.

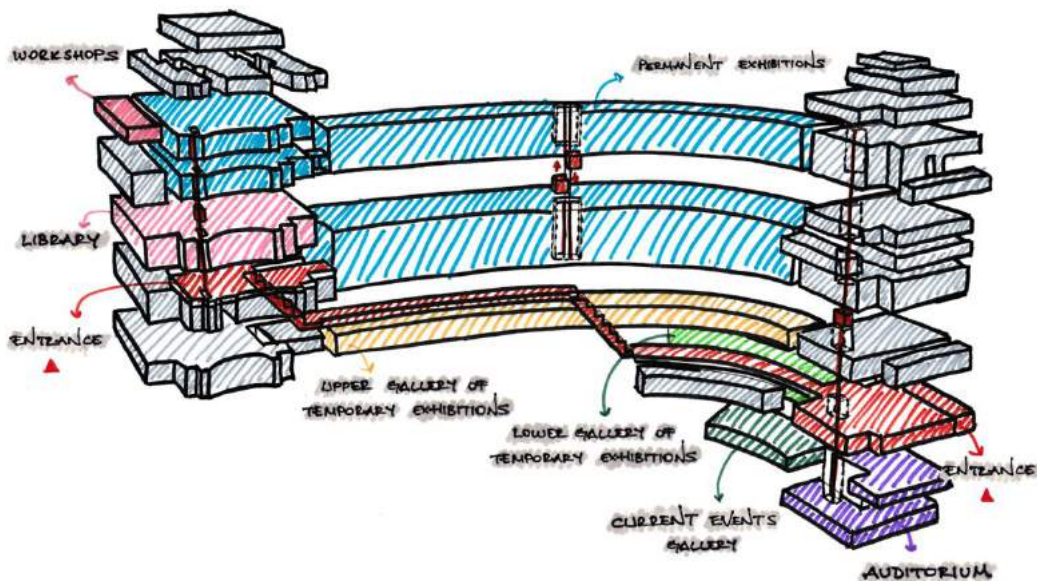


Figure 3. *Cité de l'Architecture et du Patrimoine* three-dimensional diagram (Altıparmakoğlu Sakarya, G.)

2.2. Space Syntax Theory

The first theories regarding space syntax analysis method were started being developed in the 1970s by a group led by Bill Hillier and Julianne Hanson at the Bartlett School, University College of London. The first detailed explanation of the developed theories was performed in the book entitled "The Social Logic of Space", published by Hillier and Hanson in 1984. Known as "Space Syntax" in the English literature, this method was set forth as a scientific method that examines the relations between spaces that constitute a structure, based on the word "syntax", which is a branch of linguistics that examines the relations between words that constitute a sentence.

Based on human movements, networks of social relations and the theory of space, this method generates data on buildings, cities and their spatial organization. Its starting point is that the social structure that constitutes space can be deduced from the physical setup of the space (Hillier, 1996, p.69).

As explained by Hillier and Hanson, essentially focused on the spatial experiences of people, this method is a technique that allows for concrete expression and analysis of abstract characteristics of space that plays the most significant role in creating information based on experiences as a reflection of space in the human mind (Hillier, Hanson, 1997, p.178). According to Gündoğdu, the Space Syntax Analysis Method is a term used to designate all the techniques supported by theoretical approaches and used to define the spatial models and indoor spatial organizations of regions, cities, structured environments and buildings groups at different scales and to examine their interaction with the social structure. The primary aim of such techniques is to set for the potential of "spaces" to gather and direct people, by objectively analyzing the relation between spatial organization and human movement and field of view (Gündoğdu, 2014, p.251). According to Erman, this technique analyzes the architectural space, based on the configurational features that are directly related to the social function suggested by and cultural meanings conveyed by the plan scheme. In order to understand the configuration of the space, it is necessary to examine the contiguity of spaces arising from being in relationship (Erman, 2017, p.167-168). In accordance with these explanations, it can be understood that one of the important approaches set forth by the method is that space and social structure are in direct interaction. In examining spaces, taking into account the experiences and movements of people in such spaces when considering the formal characteristics of space and its relation with other spaces as a whole, supports this approach. According to David Seamon, the most important aspect of this method that distinguishes it from other analytical approaches set forth during the same times, is that the techniques it used in describing space directly focuses on the "spatial experiences of humans" (Seamon, 2007, p.16).

According to Hillier, people exhibit a behavior basically in two ways in space: they either move or occupy. For example, when the circulation and occupation behaviors of the users in the space are observed, it is observed that the users are concentrated in the spaces that are morphologically related and connected to the whole space; it was found that pedestrian axes are particularly concentrated in these places (Hillier, 1996, p.39). In this case, it can be said that in addition to type of the space, the physical characteristics of the space are also effective in shaping the behavior. For example; In his work dated 1996 on the Tate Gallery in London, Bill Hillier tried to measure the effects of the

spatial configuration of the museum on the use of the space with the new entrance he designed for the basement. After all his works, Hillier concluded that the spatial configuration of the museum is more influential on the behavior of visitors than sign systems, guides or artifacts. In this case, in the act of behavior in the perception of the space many physical factors such as the form, borders, configuration, and volumetric relations of the space play an important role.

3. Results and Discussion

3.1. Analysis Based on Observation

The field study was conducted by observing the movement of the visitors at the Cité de l'Architecture et du Patrimoine museum on Wednesdays, Thursdays and Saturdays at 11:00 - 15:00 on the ground floor and 2nd floor, which host the museum's permanent exhibitions. In this study, which investigates the impact of spatial characteristics on visitor behavior, the observation section is based on data such as the direction preferences of visitors, the points they become undecided and pause, the points of examining the works, the spaces where they pass and the routes they use. This data was generated by marking the movement of a total of 30 visitors on the museum layout for three days, following their first entry into the exhibition space without informing them.

The observational analyses conducted at the spaces where the field study was performed, were assessed as part of physical factors that impact visitor behavior. As mentioned in the study, these factors consist three components: plan configuration and spatial organizations, architecture program and sign and graphics system. Assessing the findings as a result of observation accordingly;

The following assessments were made about the plan configuration and spatial organization:

As a result of three days of observation, recording the visitor circulation traces, it was observed that 11 different routes were formed on the ground floor. It could be stated that the fact that the spaces in the gallery have multiple relations of passage to each other caused the formation of different routes. On the 2nd floor, certain routes were not formed as in the ground floor because visitors toured in a certain order. The reason for this could be the layout of the works in the entrance main exhibition hall.

The exhibition spaces on the ground floor have a linear relation with each other. As a result of observation, it was determined that the visitors toured all the exhibition spaces on this floor. This is considered to be caused by a linear spatial organization.

The points where the visitors halted most were also the locations where they were most undecided in their direction preferences. It was determined that these locations were also the connection points with the widest gap in the passages between spaces. Visitors who paused in these areas were observed to have difficulty in direction preference. Therefore, the deduction can be made that the layout and organization are not sufficient at these points on their own and sign systems or certain environmental items that interact with the perceptive and cognitive processes of visitors are needed.

Observing the points at which visitors examined works, it was noticed that the scale of the exhibited works affected the distance between the work and the viewpoint. Most of the works exhibited on the ground floor of the museum have 1:1 scale. These impacts the number of works placed in the gallery and is also decisive in the perspectives and therefore the visual perceptions of visitors (Figure 4).

Visitors preferred points from which they can see the whole work from a wide angle. Accordingly, less number of viewpoints was recorded in the main gallery with respect to the other spaces.

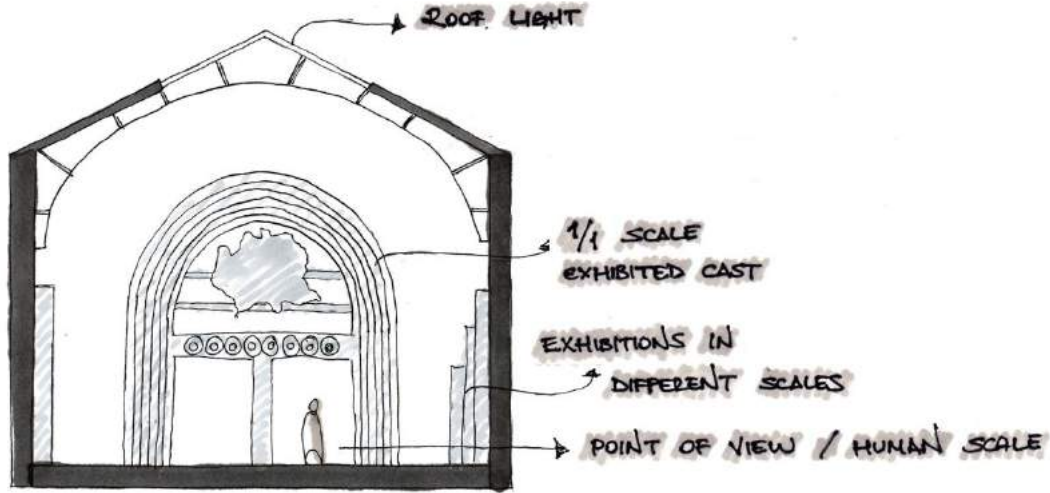


Figure 4. Section diagram expressing the scale of the work and visitor on the ground floor (Altıparmakolu Sakarya, G.)

Examining the points from which visitors examined the works at the 2nd floor, as in the ground floor, the scale and exhibition modes of the works were effective on the distance between the work and the viewpoint. Unlike the ground floor, the fact that the main gallery on the 2nd floor has a small-scale model and drawings, has caused visitors to stand at the closest

point. Accordingly, less number of viewpoints were recorded in the main gallery with respect to the all exhibition spaces. However, it is possible to state that the fact that all the works exhibited in this gallery is below the eye level, affects visual perception. As expressed in the section diagram provided in Figure 5, the main gallery space and Le Corbusier's flat can be perceived from various viewpoints.

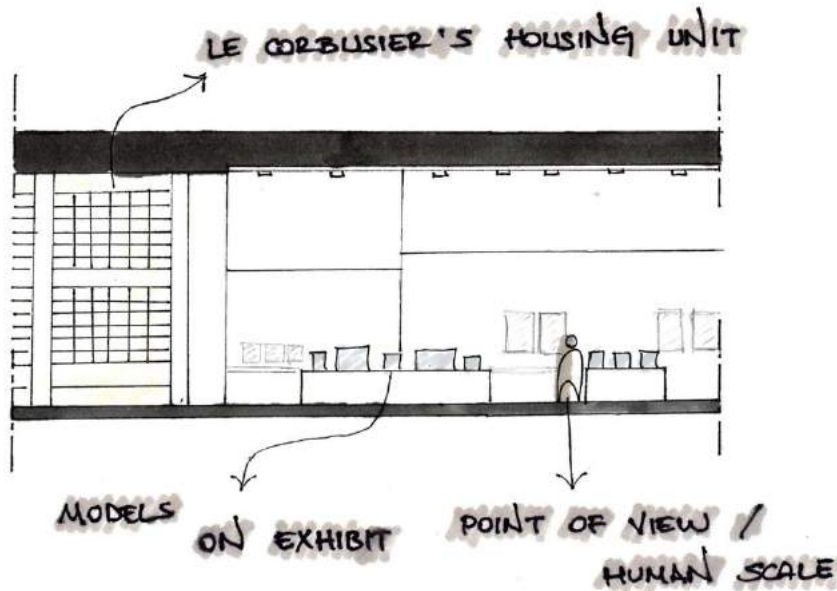


Figure 5. Section diagram expressing the work, visitor scale and space perception on the 2nd floor (Altıparmakolu Sakarya, G.)

Examining the organization of the exhibition spaces located on the second floor, it can be stated that they have a more complex layout. As a result of the observation, it was recorded that only 4 out of the 30 visitors toured the exhibition space at the very end. Together with spatial organization, it can be stated that this is caused by the sign and graphic systems used on this floor for direction.

It is known that sections designated as linear paths and nodes/connection points in the layout setup have an important place in directing visitor behaviors. As a result of observation, it was noted that on both floors, any passage space such as corridor intersections, doorsills, entry spaces, horizontal and vertical circulation areas are the locations where the visitors had the highest indecision.

It was determined that all visitors who toured the ground floor went up to the 2nd floor. The fact that the elevators providing access to the 2nd floor are located at a central location in the main exhibition hall and are transparent, were effective in this regard.

The following assessments were made regarding the architectural program:

Various studies have asserted that architectural program also has decisive effects on behavior, independent of layout setup and organization. Spaces can be characterized as strong or weak programmed depending on their features.

Evaluating the spaces of the museum in this respect, it can be said that a strong program exists here in general, as not many unplanned and unexpected uses occur in the spaces. However, it can be stated that the actions, circulation and functional relations expected in the ground floor are more systemic with respect to the second floor. This was effective in the observed visitors touring on the ground floor by following certain routes and touring more irregularly on the second floor.

Most of the visitors on the ground floor were observed to first go to the main exhibition hall located at the entrance front side. This may be explained with the level of lighting in the space being more inviting due to the wide window openings on the front.

The following assessment were made regarding the sign systems and graphical information:

In complex structures such as museums, a well-resolved spatial organization and architectural program along with a well-resolved sign system are always needed due to reasons such as raising the experience quality of visitors, preventing the feeling of insecurity and getting lost, helping them decide on their behaviors and taking actions. It is considered that sign systems are even more important due to the limitations of spatial organization particularly in the museum set up by refunctioning an existing structure, where the field study was performed.

As a result of observation and personal experience in the museum, it can be stated that the greatest deficiency was the lack of sign systems and graphical expressions. Insufficient information is obtained about exhibitions and some exhibition spaces can be missed due to lack of sign systems and signboards providing information about the spaces, other than the leaflets available at the museum entrance.

However, it was found that the observed visitors paused most at positions with wide openings at the passages between the spaces. The lack of sign systems in these areas in particular cause visitors to experience indecision by making it more difficult for them to find direction.

Considering the times spent by visitors in the spaces, it was observed that visitors spent more time in spaces containing certain educational items and interactive items that visitors can experience in person. This shows that such graphical and interactive items placed for purposes other than directing, are influential on the visiting experience of the visitors.

3.2. Space Syntax Analysis

The following findings were achieved as a result of the space syntax analyses performed in the study as part of permeability and visible area analyses:

3.2.1. Permeability Analyses for the Ground Floor

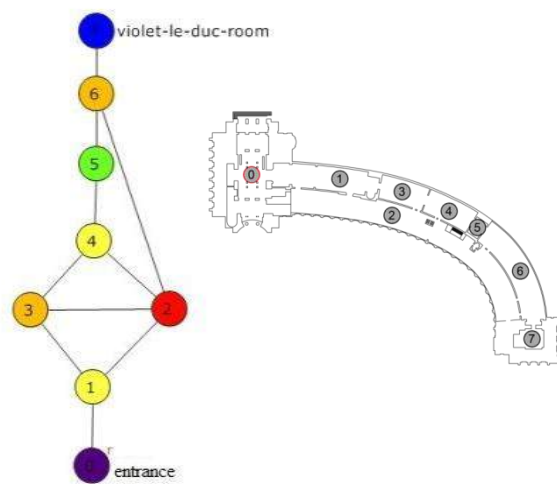


Figure 6. Justified permeability graph of ground floor (Altıparmakoğlu Sakarya, G.)

According to the justified permeability graph, spaces can first be defined according to their symmetrical/asymmetrical and distributed/non-distributed properties based on their mutual relation. Assessing the spaces on the ground floor according to space 0, in other words the entrance space, the spaces here have distributed property as there are multiple path alternatives to reach the entrance space of all spaces after the 1st space. The relation between the space number 1 and all the other spaces has an asymmetrical property as there is no same passage relation to

the entrance space. However, the spaces number 2 and 3 have symmetrical property due to the same passage relation and the spaces number 4, 5, 6 and 7 have asymmetrical property due to being dependent in the passage relation.

The total depth, mean depth, relative asymmetry, integration and control values of the exhibition spaces on the ground floor, calculated with the program, have been given in Table 1. Table 1 also contains the basic difference factor values calculated with this data.

Table 1. Permeability Analysis Values of Ground Floor

	TDn	MDn	RA	i	CV		0	1	2	3	4	5	6	7	TDn	MDn	RA	i		
0 0	19	2,71	0,57	1,75	0,33	0 0	0	1	2	2	3	4	3	4	19	2,71	0,57	1,75		
1 1	13	1,85	0,28	3,50	1,58	1 1	1	0	1	1	2	3	2	3	13	1,85	0,28	3,50		
2 2	10	1,42	0,14	7,00	1,33	2 2	2	1	0	1	1	2	1	2	10	1,42	0,14	7,00		
3 3	12	1,71	0,23	4,20	0,91	3 3	2	1	1	0	1	2	2	3	12	1,71	0,23	4,20		
4 4	13	1,85	0,28	3,50	1,08	4 4	3	2	1	1	0	1	2	3	13	1,85	0,28	3,50		
5 5	15	2,14	0,38	2,62	0,66	5 5	4	3	2	2	1	0	1	2	15	2,14	0,38	2,62		
6 6	12	1,71	0,23	4,20	1,75	6 6	3	2	1	2	2	1	0	1	12	1,71	0,23	4,20		
7 7	18	2,57	0,52	1,90	0,33	7 7	4	3	2	3	3	2	1	0	18	2,57	0,52	1,90		
Min	10,00	1,42	0,14	1,75	0,33	Mean									14,00	2,00	0,33	3,58		
Mean	14,00	2,00	0,33	3,58	1,00															
Max	19,00	2,71	0,57	7,00	1,75															
																H (Difference factor)				= 0,66
																H* (Relative difference factor)				= -0,07

Total depth value refers to the number of steps of a space in its accessibility with all the other spaces in the system. In this case, the spaces with the highest total depth were the entrance space with a numerical value of 19 and the space number 7 with a numerical value of 18. The space it was lowest was the space number 2 with a numerical value of 10. The reason for this can be stated as, the space number 2 having the maximum passage relation with the other spaces whereas the entrance space and the space number 7 have passage relations with only a single space.

The mean depth value is found by dividing the sum of the depths of all the points on the justified graph with respect to the root, in other words the entrance space, with the total number of spaces. Accordingly, the entrance space has the highest value with 2.71 and the space number 2 has the lowest value with 1.42. The mean depth value of the ground floor was calculated to be 2.00. Referring to the system as a whole, this value allows for comparison with other systems.

Relative asymmetry value is the numerical expression of the depth value. In this case, the deepest space is the entrance space with 0.57 and the shallowest space is the space number 2 with 0.14.

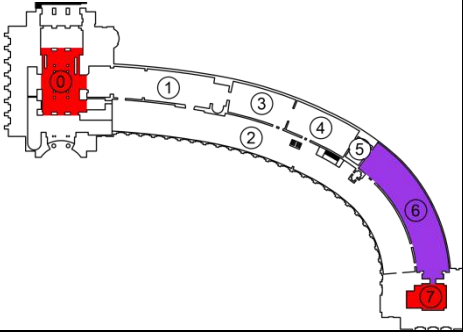
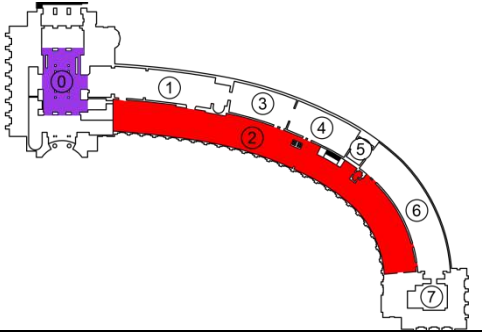
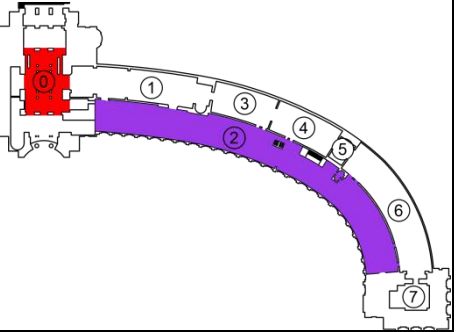

Similar to relative asymmetry, the integration value refers to the space being integrated or dissociated within the system. An integrated space is one with the highest relation with the other spaces within the system. Accordingly, the movement potential

in an integrated space is also expected to be high, whereas a dissociated space can be considered to include minimum movement. According to the analysis result, the most integrated space is space number 2 with a value of 7.00 and the most dissociated space is the entrance space with a value of 1.75.

In the ground floor, which has a mean integration value of 3.58, the basic difference factor, which refers to the change in the minimum, mean and maximum integration values, was found to be 0.66. The fact that this value is close to 0 shows that there is not a high difference between the integration values of spaces.

Table 2 shows the maximum and minimum values of the parameters calculated as a result of permeability analyses based on inter-space passage relations. The permeability analysis, where no item that could impact visibility and circulation is taken into consideration, is considered to potentially provide guidance in the setup stage of spatial organizations.

Table 2. Highest and Lowest Values in Permeability Analysis of Ground Floor

<p>Control Value The space with the lowest value: 6 The space with the highest value: 0 and 7</p>	<p>Total Depth & Mean Depth & Relative Asymmetry The space with the lowest value: 0 The space with the highest value: 2</p>	<p>Integration Value The space with the lowest value: 2 The space with the highest value: 0</p>
		
<p>Value Grade: high  low</p>		

According to the table, the entrance space and the exhibition hall number 2 were the spaces with the minimum and maximum values other than the control parameter. The fact that the exhibition hall number 2 is the most integrated and correspondingly the shallowest space, gives an idea about it being the space with the highest visitor traffic. Furthermore, the fact that it has direct passing relation with all the spaces except for the spaces number 5 and 7, suggests that it will increase the visit potential of this space. The fact that the exhibition hall number 2 was found to be the space with the highest movement as a result of observation, verifies the permeability analyses for this floor. In this context, it can be stated that the analysis conclusion will contribute to the decision-making process regarding the layout of the works to be exhibited in the museum.

3.2.2. Permeability Analyses for the Second Floor

According to the passage graph of the second floor, the passage relations between spaces are also assessed relative to the main exhibition hall, which is also the entrance space. The spaces here have non-distributed property due to the fact that there are no alternative paths from the other spaces on this floor to access this starting space, which is expressed with the number 0. However, the spaces number 1 and 3 have symmetrical property because they have the same passage relation with respect to the starting space number 0 and the spaces number 2, 4, 5 and 6 have asymmetrical property due to being interconnected with respect to passage relations.

According to the colors assigned to the passage graph, the space number 3, expressed in red, is the most integrated space. The spaces number 2 and 6, expressed in purple, are observed to be the most dissociated spaces.

Table 3 shows the total depth, mean depth, relative asymmetry, integration and control values of the exhibition spaces on the second floor, calculated with the program. Table 3 also shows the basic difference factor values calculated with this data.

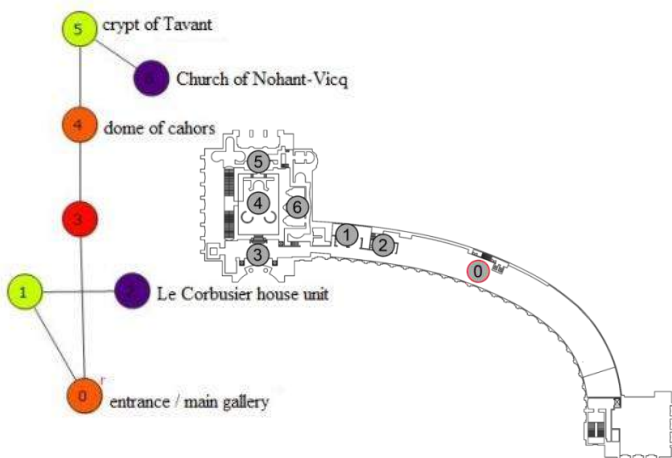
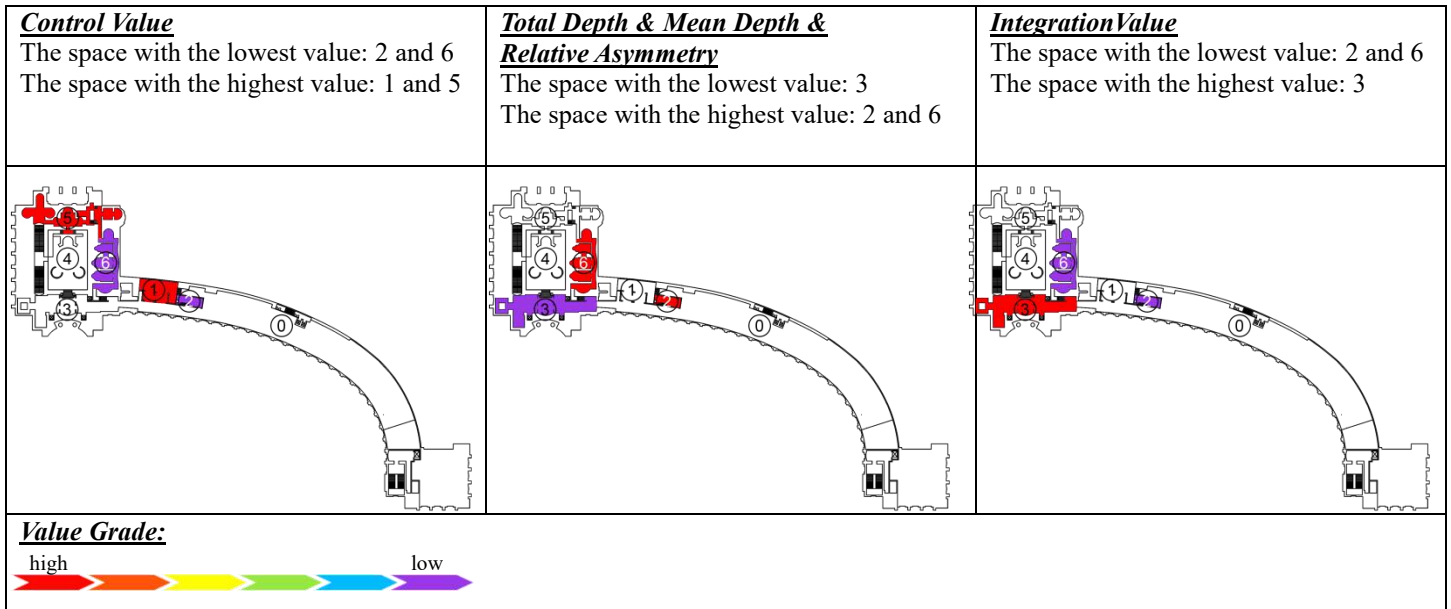


Figure 7. Justified permeability graph of second floor (Altıparmakoglu Sakarya, G.)

Table 3. Permeability Analysis Values of Second Floor

	T _{Dn}	M _{Dn}	RA	i	CV		0	1	2	3	4	5	6	T _{Dn}	M _{Dn}	RA	i
0	0	13	2,16	0,46	2,14	1,00	0	1	2	1	2	3	4	13	2,16	0,46	2,14
1	1	16	2,66	0,66	1,50	1,50	1	0	1	2	3	4	5	16	2,66	0,66	1,50
2	2	21	3,50	1,00	1,00	0,50	2	1	0	3	4	5	6	21	3,50	1,00	1,00
3	3	12	2,00	0,40	2,50	1,00	3	2	3	0	1	2	3	12	2,00	0,40	2,50
4	4	13	2,16	0,46	2,14	1,00	4	3	4	1	0	1	2	13	2,16	0,46	2,14
5	5	16	2,66	0,66	1,50	1,50	5	4	5	2	1	0	1	16	2,66	0,66	1,50
6	6	21	3,50	1,00	1,00	0,50	6	5	6	3	2	1	0	21	3,50	1,00	1,00
Min		12,00	2,00	0,40	1,00	0,50	Mean							16,00	2,66	0,66	1,68
Mean		16,00	2,66	0,66	1,68	1,00	H (Difference factor) = 0,71							H* (Relative difference factor) = 0,06			
Max		21,00	3,50	1,00	2,50	1,50											

Table 4. Highest and Lowest Values in Permeability Analysis of Second Floor



3.2.3. Visibility Graph Analysis (VGA)

Visible area analyses, which are based on the visual perception of the observer moving in the space, were assessed based on *connectivity*, *visual integration* and *clustering coefficient* parameters acquired through the Depthmap software. Also,

The visible area analyses in the ground floor were conducted based on three different layout plans containing;

- only structure buildings (without furnishing),
- items that impact circulation,
- items that impact circulation and visibility.

On the other hand, the visible area analyses in the second floor were conducted based on two layout plans containing;

- only structure buildings (without furnishing),
- items that impact circulation.

The heights of the exhibitions on this floor are also at levels that only impact circulation. As there are no exhibition elements with height that blocks visibility, a third layout plan was not taken into consideration as in the ground floor.

Connectivity value is a measure of the number of adjacent spaces directly connected to the space. This local measure is the most basic information about understanding a space. The legibility and connectivity of space is not only related to the nodes and side points that constitute a functional structure. The nature of the space constituting the node is related to its location and use. The most important aspect of the concept of connectivity is the reflection of the space's form based the visual perception it creates in the mind of the person using the space (Köken, 2018, p.33; Ünlü and Edgü, 2007).

Table 5 shows the connectivity maps drawn based on the visible area graphs of the ground floor. (The decreasing order of the colors in the visible area graph is as red > orange > yellow > green > blue > dark blue/purple). As a result of the analysis of the layout plan without furnishing, it is observed that the place

with the highest connectivity value is the area covering the region containing the elevator and stairs positioned for going up to the gallery on the upper floor in the exhibition space number 2 and the place with the lowest value is the exhibition hall number 7 which is the deepest space. In this case, the conclusion can be reached that the vertical circulation elements were placed at the most suitable locations. The passage points from the space number 1 to the spaces number 2 and 3, and the space number 5 have high connectivity values.

As a result of the analysis of the layout plan containing the elements that impact circulation, it is observed that the highest connectivity value is again at the exhibition hall number 2, however, it shifts from the area containing the vertical circulation elements to the exhibition areas. However, other locations that had the highest values in the previous graph, have a lower connectivity value with respect to that graph.

On the analysis map of the layout plan containing all the elements that impact both circulation and visibility, while the highest connectivity value is again at the exhibition space number 2, positional differences are striking. In this case, the location with the highest connectivity was the area containing the second entry point from the exhibition space number 1 to the exhibition space number 2. It was also observed that the other locations in the system also have lower values with respect to the previous graphs.

Table 5. Connectivity Maps of Ground Floor

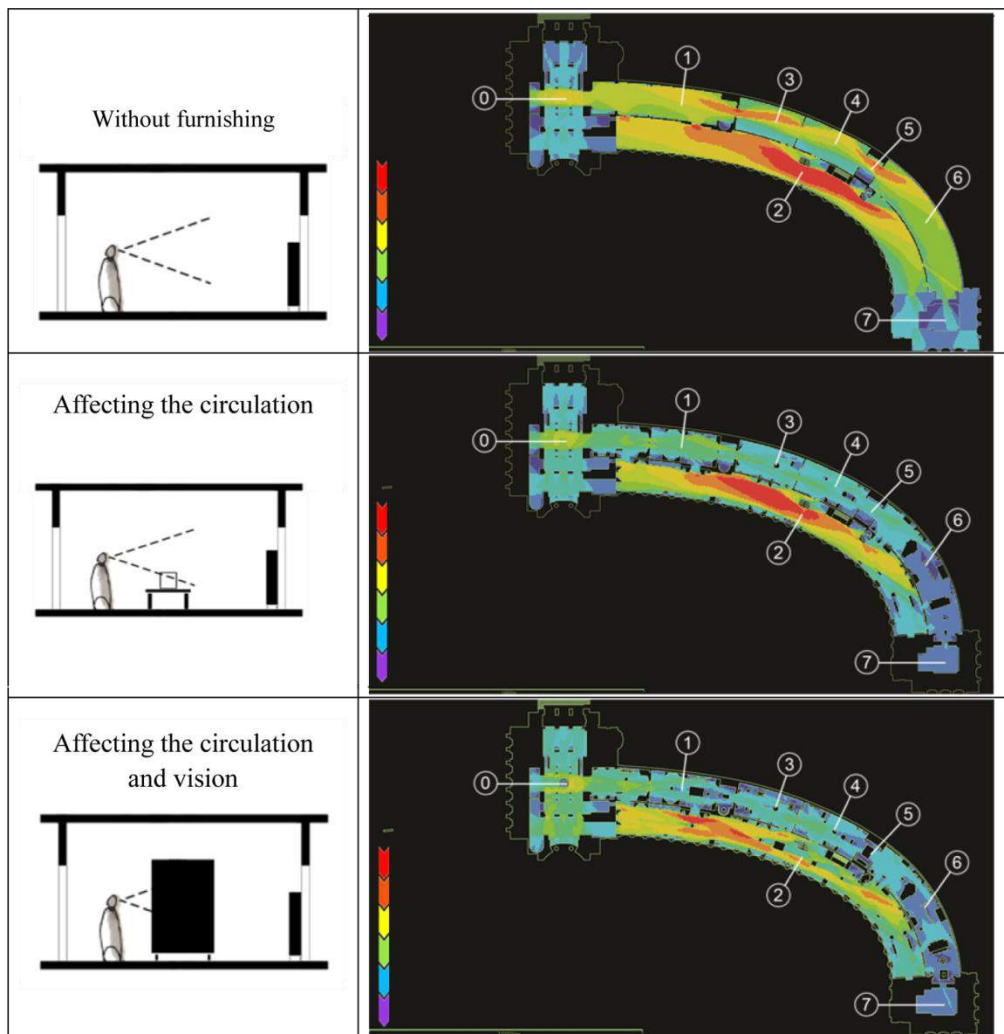


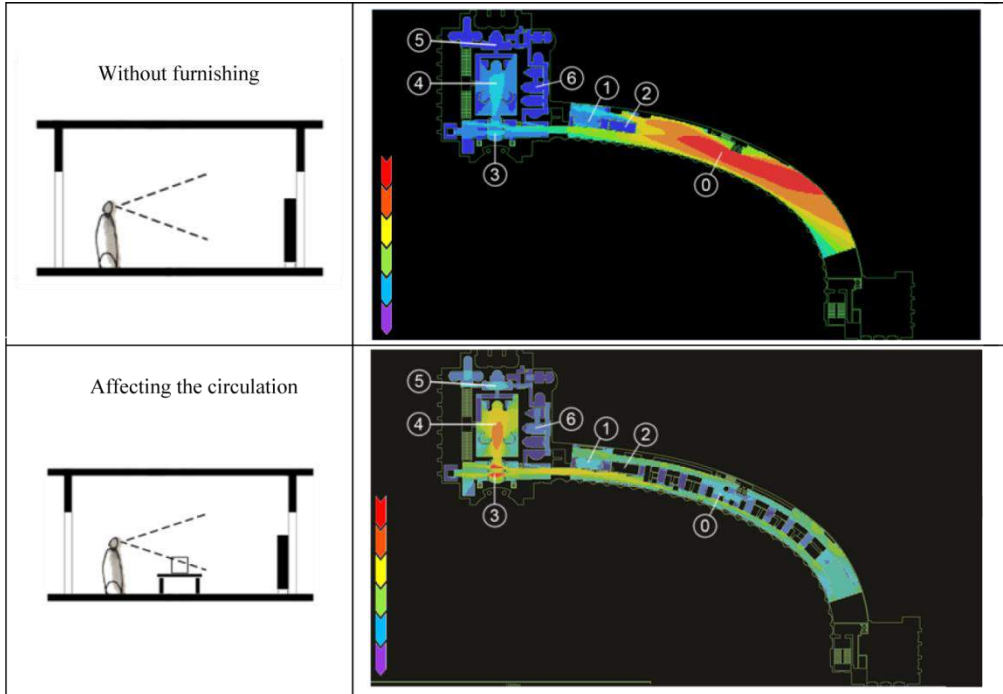
Table 6 shows the connectivity maps on the visible area graphs of the second floor. As a result of analyzing the layout plan without furnishing, the contemporary and modern architecture gallery, which is the main exhibition hall of the second floor and also referred to as the entrance space, was the

area with the highest connectivity value. The fact that the vertical circulation elements used for the entrance/exit of the space are located in this location can be interpreted as that a suitable layout was made in the spatial organization as in the ground floor. In parallel with the permeability analyses, the areas with the lowest connectivity values were the spaces number 2, 4, 5 and 6, which are the most dissociated areas that can be entered by accessing from another space.

According to the result of analyzing the layout plan containing all the elements, it was observed that the areas with the highest connectivity value are located in the passage space number 3. And the lowest values were observed in certain areas

in the spaces numbered 5 and 6 and in the main exhibition hall number 0. Two separate conclusions were reached due to the intensity of the exhibition elements and therefore, the fact that they significantly restrict circulation.

Table 6. Connectivity Maps of Second Floor



Visual integration value is a global measure that refers to the mean depth of a space with all the other spaces. Spatial integration value is the most important measure in predicting motion along a circulation line (Köken, 2018, p.34; Çakmak, 2011). Space syntax theory defines shallow spaces with high integration value as evacuation points with high visibility and permeability. These are integrated areas with high social interaction. However, spaces with less social interaction are spaces that are deep and have low interaction (Ünlü et al., 2001).

Table 7 shows the visible integration maps drawn based on the visible area graphs of the ground floor. According to the layout plan without furnishings, it is observed that the exhibition hall number 3 is the space with the highest integration value and thus, the most integrated space. This space can also be characterized as a passage space and is expected to have higher social interaction. According to the map containing the layout with the elements that block circulation, the exhibition hall number 1 is the most integrated space. In the analysis with the most realistic approach due to the inclusion of all the elements, the conclusion was reached that, similar to connectivity value, the most integrated space is the location of the second passage point from the exhibition hall number 1 to the exhibition hall number 2. The fact that different results are obtained depending on the exhibited products and other furnishment elements, indicates that the social interaction in the space is also different. This can be interpreted as that the region marked in red is the location with the highest movement and interaction.

Table 7. Visual Integration Maps of Ground Floor

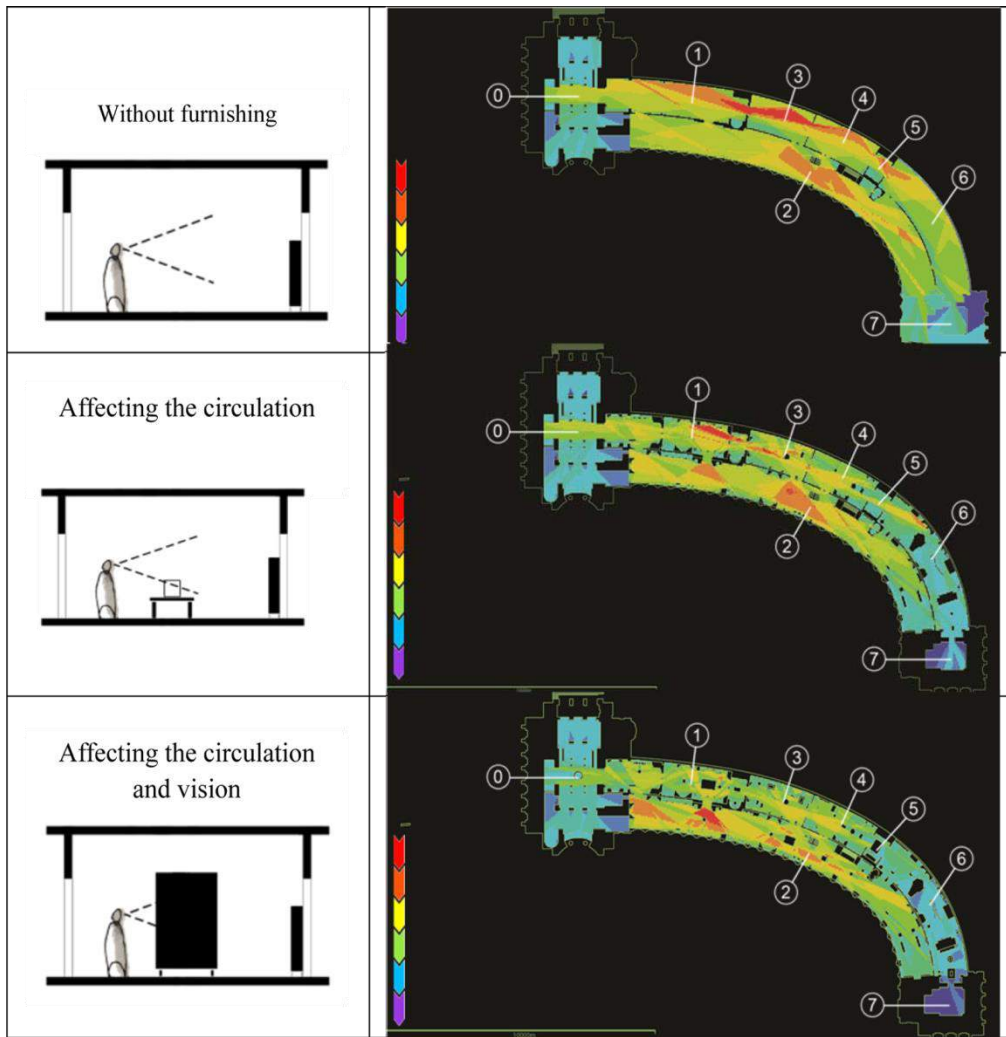
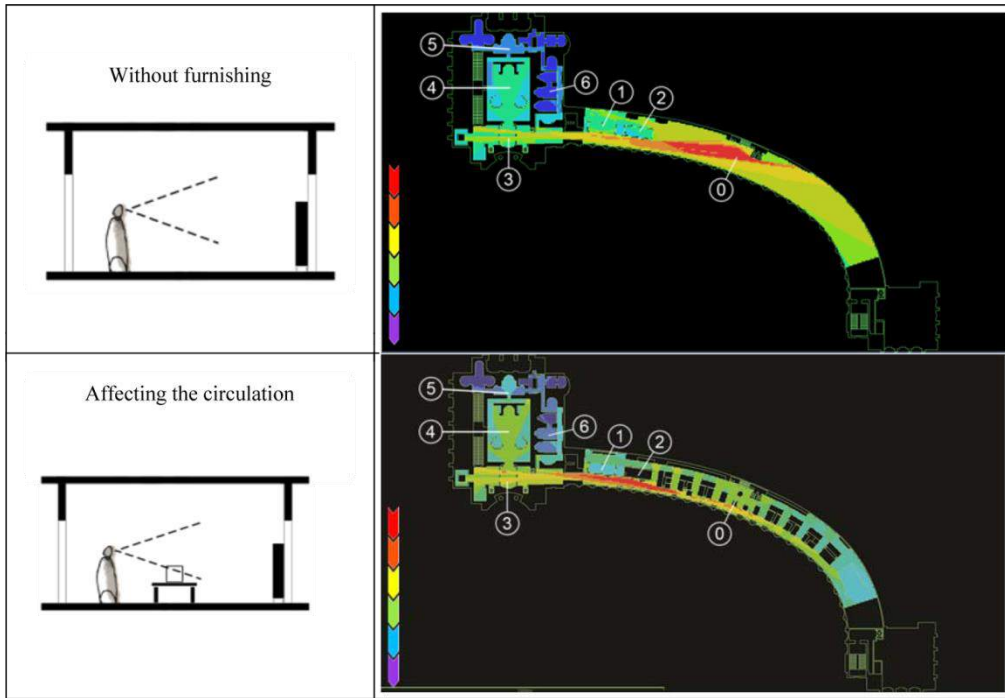


Table 8 shows the visible integration maps drawn based on the visible area graphs of the second floor. According to the layout plan without furnishings, it is observed that the left-hand side of the main exhibition hall number 0 is the space with the highest visual integration value and thus, the most integrated space. Standing out as the space with the highest expected social interaction, as a result of the observation this was the area where visitors headed most. According to the map of the layout plan containing all the elements, although the space with the highest integration was again the main exhibition hall number 0, as an area, it was the region where passage is made to the space number 3 on the front side.

Considering in terms of social interaction, it was observed that regardless of the exhibitions located in this area, the fact that it has an unmatched view of the Eiffel Tower indeed causes visitors to frequently pause and concentrate in this area.

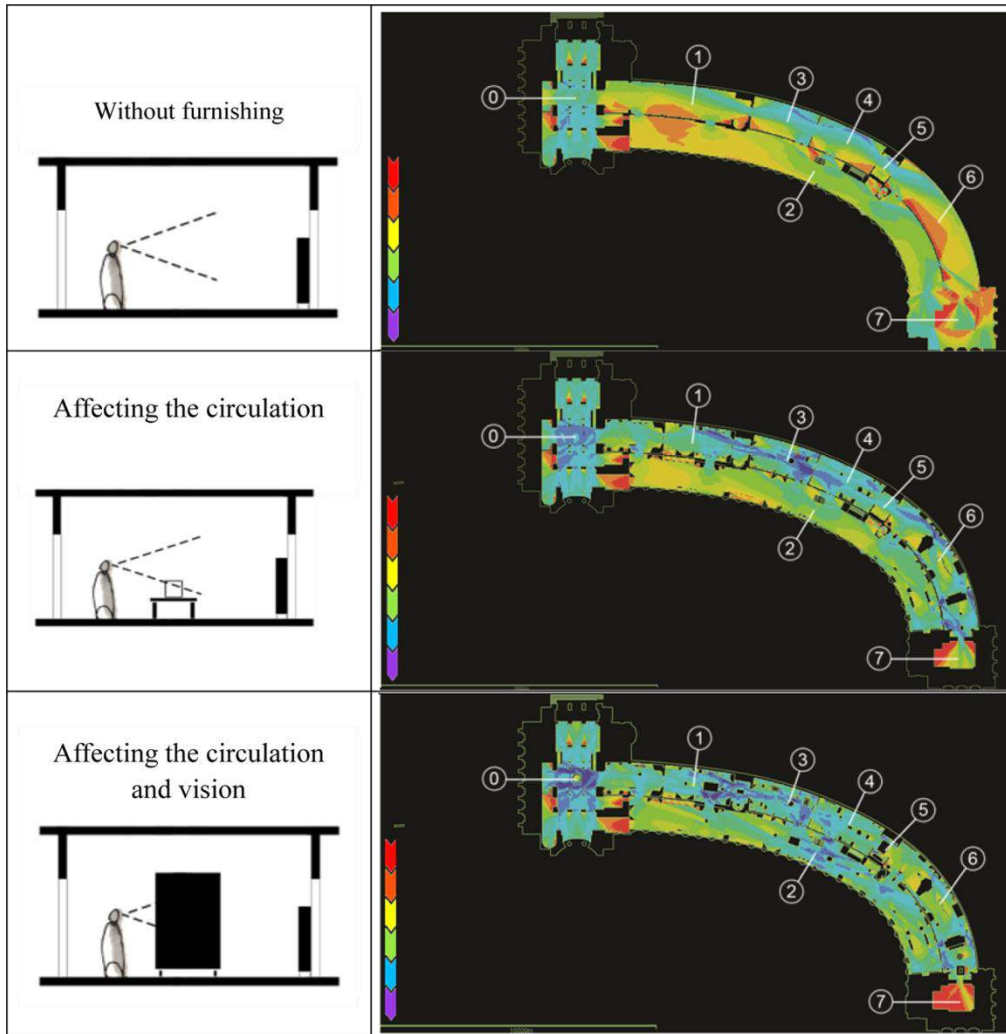
Table 8. Visual Integration Maps of Second Floor



Clustering coefficient value can be defined as the number of lines of vision between all the locations constituting the field of vision. Clustering coefficient gives a measure of the ratio of the mutually visible space inside the visibility adjacency of a point. This indicates the extent to which the field of vision remains the same and the extent to which it is lost when the observer distances from that point. It therefore indicates the rate of change of the spatial perception of the observer. Clustering coefficient is directly related to the decision-making process in path finding and touring clearly specifies the key decision points in complex arrangements (Atak, 2009, p.44). Depending on the movement of the user within the space, coefficient clustering has low values at locations with decreasing visible areas when distancing from the space.

Table 9 shows the clustering coefficient maps drawn based on the visible area graphs of the ground floor. According to the map of the layout without furnishing, the locations with the lowest value were observed to be the passage points between the exhibition halls number 3, 4 and 5 and the spaces.

Table 9. Clustering Coefficient Maps of Ground Floor

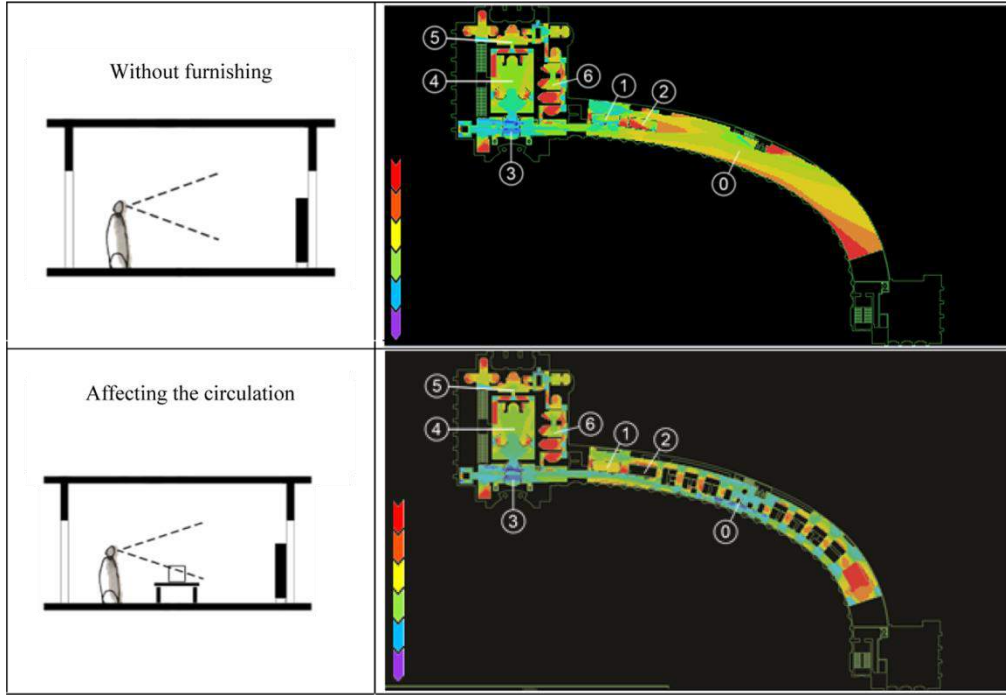


As result of the analysis of the layout plan containing the elements that impact circulation, it was observed that more areas with low value were created. However, the areas where low values were concentrated were the spaces number 1, 3, 4, 5 and 6, similar to the first graph.

The fact that the map of the layout containing all the elements, also includes exhibition elements at heights that block vision, has caused different results to be received with respect to the previous graphs. According to the analysis results, it is striking that the exhibition hall number 2 and the center of the main entrance of the structure also have low-value locations. This result is expected to cause people to encounter more locations of indecision.

Table 10 shows the coefficient clustering maps drawn based on the visible area graphs of the second floor. According to the layout without furnishing, the region with the lowest value is located in the passage space number 3. It was observed that the other sections outside this area had close values. According to the map of the layout plan containing all the elements, areas with the lowest value are observed also in certain sections of the main exhibition hall number 0 in addition to the passage space number 3 on the layout plan without furnishing. These areas correspond to locations from which entry is made to the space through vertical circulation elements.

Table 10. Clustering Coefficient Maps of Second Floor



Areas that take low values of clustering coefficient are foreseen to be the locations where the visitors will have the most indecision. As a result of the observation, it was observed that visitors had the most indecision regarding way finding in these locations. Therefore, in addition to spatial planning, elements such as guiding signs and graphic systems to assist visitors in way finding are required particularly in these locations.

The fact that the measured parameters gave different results depending on different layout plans indicates that elements that impact circulation and visibility are also items that should be taken into consideration during the design stages of spaces.

4. Conclusions and Recommendations

Discussing the interaction between visitor behavior and space in the case of architecture museums, this study showed that spatial configuration caused preferences in visitor behaviors.

Spaces have been assessed based their mutual passing relations according to the justified permeability graphs prepared as part of the permeability analyses. Assessing the relations between the spaces in the ground floor with respect to the entrance space, it was observed that the spaces in the system mostly have distributed and asymmetrical property. According to the justified graph created for the second floor, the spaces here mostly have non-distributed and asymmetrical property. The fact that while all the observed visitors toured the ground floor but not all the exhibition spaces on the second floor, enables distributed spatial organization to be interpreted as more successful.

Within the scope of Space Syntax analysis, visibility graph analysis of museum spaces were made over three parameters: connectivity, visual integration and clustering coefficient. When the areas with the highest connectivity value are assessed

without furnishings in both floors, it shows the areas where the vertical circulation elements are located. However, when all the exhibition elements are placed in the space, it was observed that the areas with high connectivity shifted elsewhere (Table 5 and Table 6). This indicates that the vertical circulation elements were placed in the most correct location with the highest connectivity when spatial organization was performed at the very start of the design; however, it lost this value with the placement of the exhibition elements. Assessing the connectivity value of the museum in general, the conclusion is reached that particularly common areas have a good level of accessibility. Examining the visual integration values, it is foreseen that spaces with high integration will have the highest movement potential. As a result of observations, it was also determined that spaces with higher integration value had more visitors. However, it was observed that context also influences the space preferences of visitors. Particularly in the second floor of the museum, it was observed that regardless of the exhibitions, the locations where the Eiffel Tower entered the field of vision from window openings, were points where visitors concentrated due to the preference to view the scenery. Examining the clustering coefficient values, considering that low values will be at points where a visitor will have the highest loss of visual information depending on his/her movement, these locations are expected to be the regions with the highest indecision in way finding. Compared to the observation results, it was found that it substantially coincides with the analysis results of points where visitors were in indecision the most. It was determined that clustering coefficient value is an important parameter in spatial planning in terms of achieving correct results.

Generally assessing all the analyses, the conclusion can be reached that the permeability and visible area structures of the museum coincide with each other. The fact that certain discrepancies arise when the parameters other than the clustering coefficient values are compared with the observation results, shows that personal factors including perceptive and cognitive

processes are also effective as much as environmental factors on the behaviors of visitors.

According to the results obtained in the study, it is considered that elements that impact circulation and visibility should also be taken into consideration when developing spatial configuration. Bununla birlikte, sergileme elemanları yerleştirilirken

In the light of the information gained in the study, environment has also stood out as a significant data in spatial configuration and visitor behaviors. It was observed that the inclusion of environmental factors such as view and daylight are effective particularly on the spatial preferences of visitors. Therefore, it can be stated that establishing a strong relation with the environment in spatial configuration, impacts the time spent in spaces and therefore, user behaviors.

It is considered that spatial configuration has a privileged importance in architecture museums where a strong relation is established regarding the interaction between space and humans. This is because, a space aiming to convey information about good examples of architecture, would itself be expected to be a really well-setup space in terms of its purpose and architectural design. The ability of visitors to tour it without much confusion, without concern over finding way and without much effort to reach the desired work is a significant problem in terms of spatial setup in architecture museums. The correct design decisions to be given in accordance with this problem will reflect onto the spatial behaviors of visitors to ensure that they experience a visit with higher quality.

The lands of Anatolia, which hosted many civilizations due to its geographical and geopolitical location, have a very rich history and cultural heritage. Accordingly, it can be stated that despite the presence of more than one hundred museums exhibiting works on various topics, the lack of an architecture museum where the mentioned heritage can be conveyed by viewing, experiencing and sensing, is a significant deficiency. It is hoped that the works to establish an architecture museum, which have been on the agenda for some time and for which various attempts were made, can be realized as soon as possible and it is considered that once an architecture museum is established in Turkey, this study will make a contribution in the context of spatial organization and space-visitor interaction.

5. Acknowledge

This article is based on the author's Ph.D Thesis completed under the supervision of Assist.Prof.Dr. Fehime Yeşim GÜRANİ at Çukurova University in 2020.

This study was also supported by Çukurova University Scientific Research Projects Unit with the number SSY-2017-7792 within the scope of the doctoral thesis project.

References

- Atak, Ö., (2009). Mekânsal Dizim ve Görünür Alan Bağlamında Geleneksel Kayseri Evleri. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi İstanbul.
- Çakmak Yılmaz, B. (2011). Kırsaldan Kente Göç ile Kent Çeperlerinde Oluşan Konutların Mekânsal Dizim Yöntemiyle Analizi, Konya Örneği. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Erman O., 2017. Mekansal Komşuluk Kavramı Üzerinden Mimari Mekânın Analizi, Çukurova University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture, 32(1), pp. 165-176,
- Gündoğdu M. (2014). Mekân Dizimi Analiz Yöntemi ve Araştırma Konuları, Art Sanat Dergisi, s.2, 251-274
- Hillier, B. (1996). Space is the machine: A configurational theory of architecture. Cambridge University Press: Cambridge.
- Hillier, B. and J. Hanson. (1997). The Reasoning Art: Or, the Need for an Analytical Theory of Architecture, Space Syntax First International Symposium, London.
- Hillier, B., Hanson, J.(2003), The Social Logic of Space, Cambridge University Press,Cambridge, London.
- Köken, B. (2018). Hastane Binalarında Sismik Güçlendirme Sonrası Meydana Gelen Mekansal Değişimin Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya.
- Seamon, D. (2007). A Lived Hermetic of People and Place: Phenomenology and Space Syntax, 6. Uluslararası Space Syntax Sempozyumu, İstanbul, No: 3
- Ünlü, A., Edgü, E., 2007, Comparative Space Syntax Analysis of Design Strategies for Istanbul Underground System, 6th International Space Syntax Symposium, Ayşe Sema Kubat (ed.), Proceedings, ITU Faculty of Architecture, İstanbul, June 13-15, 2007, vol 2, s.074, 01-10

ELECTRONIC SOURCES

- URL-1 <http://famouswonders.com/wp-content/uploads/2013/05/Palais-de-Chailot.jpg>, (Access Date: 15.11.2017)



Asmalarda Kuraklık ve Tuz Stresi*

Zehra Babalık^{1**}, Nilgün Göktürk Baydar²

¹ Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Atabey Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1784-4563), zehrababalik@isparta.edu.tr

² Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5482-350X), nilgungbaydar@isparta.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 24 Ağustos 2020 ve Kabul Tarihi 14 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.784997)

ATIF/REFERENCE: Babalık, Z. & Göktürk Baydar, N. (2021). Asmalarda Kuraklık ve Tuz Stresi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 358-368.

Öz

Asma (*Vitis vinifera* L.) dünyada ekonomik öneme sahip olan çok yıllık bahçe bitkilerinden biri olup, diğer birçok bitki türü ile kıyaslandığında, kuraklığa karşı dayanıklı ancak tuzluluğa karşı ise oldukça hassas olduğu bilinmektedir. Bağların büyük bölümü büyüme sezonunda mevsimsel kuraklığın yoğun olarak çıktığı bölgelerde kurulmuştur. Bu bölgelerde toprağın su tutma kapasitesinin düşük olması ve evapotranspirasyonun yüksek olmasından dolayı asmalar sık sık kuraklık ve dolayısıyla tuz stresine maruz kalmaktadırlar. Asmalar kuraklık stresine, strete kalma süresine bağlı olarak dayanım göstermektedir. Tuz toleransı ise karmaşık fizyolojik ve çok genle kontrol edilebilen bir özelliktir. Asmadaki tuz toleransı, toksik iyonların kök seviyesinde etkili bir şekilde tutulması ve daha kesin olarak, ksilem yoluyla hava kısımlarına doğru taşınmalarının kısıtlanması ile ilgilidir. Bu derleme, asmanın kuraklık ve tuz stresini göstermiş olduğu fizyolojik ve biyokimyasal değişimlerin belirlenmesi üzerine yapılan çalışmalarını sentezlemektedir.

Anahtar Kelimeler: Asma, Fizyolojik özellikler, Biyokimyasal özellikler, Kuraklık, Tuz stresini.

Drought and Salt Stress in Grapevines

Abstract

Grapevine (*Vitis vinifera* L.) is one of the most economically important fruit crops worldwide and compared to many other plant species, it is known to be resistant to drought but highly sensitive to salinity. Most of the vineyards are established in regions where seasonal drought occurs intensely during the growing season. In these regions, the vines are frequently exposed to drought and therefore salt stress due to the low water capacity of the soil and high evapotranspiration. Grapevines show resistance to drought stress depending on the duration of stress. Salt tolerance is a complex physiological and multigenic trait. Salt tolerance in grapevine is related to efficient sequestration of the toxic ions at the root level and, more precisely, to the restriction of their transport towards the aerial parts through the xylem. This review synthesizes the studies on the determination of the physiological and biochemical changes that the grapevine has shown under drought and salt stress.

Keywords: Grapevine, Physiological characteristics, Biochemical characteristics, Drought, Salt stress.

*Bu çalışma ikinci yazarın danışmanlığında birinci yazarın doktora tezinden üretilmiştir.

**Sorumlu Yazar: Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Atabey Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Isparta, Türkiye, ORCID: 0000-0002-1784-4563, zehrababalik@isparta.edu.tr

1. Giriş

Artan dünya nüfusuna paralel olarak çeşitli stres faktörleri nedeniyle azalan tarım alanları ve ürün verimliliği, insanoğlunun şimdi olmasa bile ileriki yıllarda ciddi bir beslenme sorunu ile karşı karşıya kalacağını göstermektedir. Küreselleşen dünyada bilimsel çalışmalar ve teknolojik gelişmeler bitkilerin özellikle su kullanım etkinliklerini arttırmaya cevap verebilmek için çaba harcamaktadır. Dünyada su kaynaklarının %70'e yakın bir bölümü tarımda kullanılmaktadır. Türkiye'de ise 2008 yılı verilerine göre yıllık toplam su tüketiminin; %74'ü tarımsal sulamada, %13'ü içme ve evsel kullanımda ve %13'ü sanayide kullanılmaktadır (Anonim, 2020). Mevcut koşullarda en fazla suyu tarım sektörünün kullandığı görülmektedir. Ancak gelecekte dünya nüfusundaki artış ile bu oranda da değişimler olacağı ve tarımdan sanayi ve yerleşim birimlerindeki içme ve kullanma suyuna doğru artış göstereceği beklenmektedir (Önder vd., 2005). Buna karşılık yağışların yıldan yıla azalması da, tarımda sulama için gerekli olan su miktarının giderek artmasıyla sektörler arasında rekabete neden olmaktadır. 2011 yılı sonu itibarıyla ülkemizde 8.5 milyon hektar alanın 5.61 milyon hektarı sulamaya açılmıştır (Tipi vd., 2017). Sulanan alanlarda ortaya çıkan artışa rağmen su kaynaklarının sınırlı olması, su ve toprak kaynaklarının en ekonomik ve en verimli şekilde kullanılması zorunluluğunu ortaya çıkarmıştır (Saruhan vd., 2008).

Son yıllarda küresel iklim değişikliği nedeniyle ortaya çıkan ısınma, dünyada olduğu gibi ülkemizde de hem su kaynaklarının azalmasına hem de toprak tuzlaşmasına neden olmaktadır. Özellikle ülkemizin de içinde bulunduğu kurak ve yarı kurak iklim bölgelerinde düzensiz ve yetersiz yağıştan dolayı suda eriyebilir tuzlar uzaklara taşınmamakta, tuzlu taban suları, kontrolsüz ve gelişigüzel yapılan sulama ile yükselmektedir. Evaporasyonun yüksek olması nedeniyle de sular, toprak yüzeyinden kaybolurken, beraberinde taşıdıkları tuzları toprak yüzeyine veya yüzeye yakın kısımlara bırakmaktadır (Saruhan vd., 2008; Gong vd., 2010). Tüm bu olaylar sonucunda tuzluluk ve kuraklık birbirine bağlı ve birbirini destekler şekilde ortaya çıkmaktadır. Bitkilerin tuz ve su stresine karşı göstermiş oldukları tepkiler çevre faktörleri ve özellikle de genotipik özelliklerden etkilenmektedir. Nitekim, bazı bitki tür ve çeşitleri stres faktörlerinden çok az etkilenirken, bazıları ise ölümcül biçimde zarara uğramaktadırlar (Alexieva vd., 2003; Tattersall vd., 2007).

Asma dünyada ekonomik öneme sahip olan çok yıllık bahçe bitkilerinden biri olup, diğer birçok bitki türü ile kıyaslandığında, susuzluğa karşı dayanıklı (Cramer vd., 2007; Vincent vd., 2007; Deluc vd., 2009; Cramer, 2010) ancak tuzluluğa karşı ise oldukça hassas (Shai ve Ben Gal, 2005; Ben Asher vd., 2006, Vincent vd., 2007; Upreti ve Murti, 2010) olduğu görülmektedir. Bağların büyük bölümünün büyüme sezonunda mevsimsel kuraklığın yoğun olarak ortaya çıktığı bölgelerde kurulmuş olması, özellikle bu bölgelerde toprağın su kapasitesinin düşük olması ve evapotranspirasyonun yüksek olması gibi nedenlerle asmaların sık sık kuraklık ve tuz stresine maruz kalmasına neden olmakta bu da asmalarda verim ve kalite kaybı gibi sorunlara yol açmaktadır (Cifre vd., 2005; Patakas vd., 2005; Flexas vd., 2010).

2. Bitkilerde Stres

Bitkiler yaşadıkları doğal ortamlarda birçok olumsuz durum ve maddelere maruz kalabilmektedirler (Jellouli vd., 2008). İşte bitkilerde metabolizmayı, büyüme ve gelişmeyi etkileyen bu

uygun olmayan durum veya maddeler stres olarak tanımlanmaktadır (Mahajan ve Tuteja, 2005). Bitkiler doğada abiyotik (soğuk, sıcaklık, tuzluluk, kuraklık, su taşkını, radyasyon, oksidatif stres vb.) ve biyotik (patojenler, böcekler, yabancı otlar, hastalıklar) stres faktörlerine maruz kalmakta ve çeşitli antropojenik aktivitelerle de bu stres faktörlerinin etkinliği daha da artmaktadır. Tüm bu stres faktörleri bitkilerin tam genetik kapasitelerine ulaşmasını engellemekte ve ürün verimliliğini sınırlandırmaktadır (Mahajan ve Tuteja, 2005). Dünyadaki ürün kaybının başlıca nedeni abiyotik stres faktörlerinden kaynaklanmakta ve önemli tarımsal ürünlerin üretimini %50'ye varan oranlarda azaltarak tarım endüstrisinin geleceğini tehdit etmektedir (Mahajan ve Tuteja, 2005; Kaçar vd., 2009). Stres faktörleri stres süresince bitkilerde birbirini izleyen farklı fazların meydana gelmesine neden olmaktadır. Bitkiler herhangi bir stres faktörü ile karşılaştığı zaman ilk olarak normal yaşamsal etkinlikleri için gereksinim duydukları yapısal ve fonksiyonel koşullarda sapmalar meydana gelmektedir (tepki fazı). Bu stres faktörlerinin yoğunluğunun değişmeden kalması durumunda protein veya koruyucu maddelerin sentezi gibi tamir olaylarının gerçekleştiği onarım fazı (dayanıklılık aşaması) bitkilerde hızla başlatılmakta böylece devam eden stres koşulları altında kuvvetlenmenin arttığı bir dayanıklılık fazına geçiş sağlanmaktadır (Şekil 1). Ancak stres döneminin çok uzun sürmesi veya stres faktörünün yoğunluğunun artması halinde bitiş fazı (tükenme dönemi) ortaya çıkmaktadır. Tolerans limitlerinin azaldığı, adaptasyon kapasitesinin aşırı yükseldiği bu fazda, kalıcı zararlar ve hatta ölüm meydana gelebilmektedir. Dördüncü bir faz olarak da zararın çok yüksek olmadığı durumlarda stres faktörleri uzaklaştırıldığında rejenerasyon fazı ortaya çıkmaktadır. Bu fazda bitkilerde fizyolojik fonksiyonların kısmi veya tam rejenerasyonu gerçekleştirilip zararlar tamir edilebilmektedir (Gürel ve Avcioglu, 2001).



Şekil 1. Bitkilerde stresle meydana gelen fazlar (Lichtenthaler, 1998)

Doğada stres genellikle tek başına meydana gelmemekte, etkisini bir diğer stres faktörüyle birlikte göstermektedir (Mahajan ve Tuteja, 2005). Stres faktörlerinin birlikte etki göstermesi, bitkinin tek bir stres faktörüne olan tepkisini kuvvetlendirebilmekte, zayıflatabilmekte, erteleyebilmekte veya tersine çevirebilmektedir. Ancak çoğunlukla bu etkinin arttığı görülmektedir. Ortaya çıkan birinci stres faktörü, organizmayı ikinci bir strese karşı hazırlamakta, böylece bitki, ikinci strese daha kolay ve çabuk cevap vermektedir. Bu durum çapraz korunma olarak ifade edilmektedir (Gürel ve Avcioglu, 2001; Alexieva vd., 2003; Mahajan ve Tuteja, 2005). Bitkilerin stres faktörlerine dayanımı iki şekilde meydana gelmektedir. Bitkiler stresin etkisini ya stres oluşturmadan azaltma (kaçınma) ya da koruyucu mekanizmalarını çalıştırarak stresin olumsuz etkilerini azaltmaya (tolerans) çalışmaktadırlar (Kaçar vd., 2009). Bitkiler stres faktörlerine karşı farklı tepkiler göstermekte, bu tepkiler fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler değişiklikleri içermektedir

(Sairam ve Tyagi, 2004; Jellouli vd., 2008; Kök, 2007; Farshadfar vd., 2008). Bitkilerin stres faktörlerine karşı göstermiş oldukları tepkiler genotipe, yaşa, adaptasyon derecesine, toprak tipine, iklime ve mevsimsel aktiviteye bağlı olarak farklılık göstermektedir (Eriş vd., 1998; Patakas ve Noitsakis, 2001; Sinclair ve Hoffmann, 2003; Müftüoğlu vd., 2006; Dardeniz vd., 2006).

2.1. Asmalarda Kuraklık Stresi

Kuraklık, yağışın normal düzeyinin çok altında olduğu koşullarda ortaya çıkan ve arazi kaynakları ile üretim sistemlerini olumsuz yönde etkileyerek, ciddi hidrolojik dengesizliklere yol açan doğal oluşumlu bir olaydır (UNCCD, 1995). Yani toprağın su içeriği ile bitki gelişiminde gözle görülür azalmaya neden olacak kadar uzun süren yağışsız dönem kuraklık olarak tanımlanmaktadır. Yağışsız dönemin kuraklık oluşturması; toprağın su tutma kapasitesi ve evapotranspirasyon hızına bağlı olarak gerçekleşmektedir. Kuraklık stresi birdenbire oluşmamakta yavaşça gelişerek artış göstermektedir (Kalefetoğlu ve Ekmekçi, 2005). Bu nedenle stresin süresi, kuraklık stresinde önemli bir role sahiptir (Munns, 2002; Grimplet vd., 2007; Deluc vd., 2009). Kuraklığın, vejetasyonun global coğrafik dağılımını belirlemesi ve tarımda ürün kazançlarını kısıtlaması yönüyle etkili bir faktör olduğu düşünülmektedir (Flexas vd., 1999). Bu durumda, kuraklık stresi büyümeyi, gelişmeyi ve verimi etkileyen en yaygın çevresel streslerden biri olup bitkilerde birçok fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler cevapların ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Jellouli vd., 2008; Farshadfar vd., 2008).

Kuraklık genel olarak ağır (ivegen, akut) kuraklık, sürekli (kronik) kuraklık ve fizyolojik kuraklık olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Bitkilerde akut kuraklığa sıcaklıktaki artış ya da nemde hızlı bir düşüş neden olurken, kronik kuraklığa ise topraktaki taban suyunun düşmesi neden olmaktadır. Toprakta yeterli su bulunmasına rağmen, çeşitli nedenlerle bitkinin bu sudan yararlanamaması durumunda ise fizyolojik kuraklık ortaya çıkmaktadır (Eriş, 1990).

Kültürü milattan önce 6000-5000 yıllarına dayanan bağıcılık ilk olarak Kafkasya ve Anadolu da kültüre alınmaya başlanmıştır. Bugün bu bölgelerin düşük yaz yağmurları alan ve kurak periyotları çok olan bölgeler olduğu bilinmektedir. Günümüzde de bağların büyük bir bölümü, yüksek sıcaklıkla birlikte toprak ve havanın nisbi neminde azalmalara yol açan, ürün kalite ve veriminde de büyük ölçüde sınırlamalara neden olan mevsimsel kuraklığın görüldüğü bölgelerde yerleşmiştir (Chaves vd., 2007; Cramer vd., 2007; Flexas vd., 2010). Bu bölgelerde toprağın su kapasitesinin düşük olması ve evapotranspirasyonun yüksek olmasından dolayı asmalar sık sık kuraklık stresine maruz kalmaktadırlar (Patakas ve Noitsakis, 2001; Patakas vd., 2005; Toumi vd., 2008). Ortaya çıkan stres sonucunda asma da fotosentez, vejetatif ve generatif gelişme ile verim azalmaktadır (Patakas vd., 2002; Cifre vd., 2005; Bertamini vd., 2007). Genel olarak su tutma kapasitesi yeterli derin topraklarda bağ kurulduğunda, asmalar şiddetli su eksikliğinde yaşamlarını sağlayacak metrelerce derinlikte kök sistemi üretebilmektedirler. Asmalar su stresine, strese kalma süresine bağlı olarak dayanım göstermekte, özellikle çiçeklenme boyunca ve çiçeklenmeden hemen sonra su stresine karşı çok hassas olmaktadır. Yani kuraklık stresinin ürün üzerinde etkisi kuraklığın süresine ve şiddetine bağlı olarak değişmektedir. Özellikle asmalar çiçeklenmeden sonraki yaklaşık 4 haftalık bir dönemde susuzluğa karşı çok hassastır. Bu nedenle tomurcuk patlamasıyla çiçeklenme veya çiçeklenme ile ben düşmeden hemen önce susuzluğun

meydana gelmesi tane ağırlığında önemli derecede düşüslere sebep olmaktadır (Grimplet vd., 2007; Deluc vd., 2009; Chaves vd., 2010). Ben düşme öncesinde meydana gelen susuzluk sürgün gelişiminin durmasına ve tane büyüklüğünün azalmasına neden olarak olumsuz etkide bulunurken, ben düşme sonrasında oluşan su eksikliği ise tam tersine erken tane olgunlaşmasında, antosiyanın ve şeker birikiminin artmasında ve toplam asitliğin azalmasında olumlu etkilerde bulunmaktadır (Van Leeuwen vd., 2004; Cramer vd., 2007; Santesteban vd., 2011).

2.2. Asmalarda Tuz Stresi

Topraklar belirli oranlarda suda çözünebilir tuzları ihtiva etmektedirler. Bu tuzların konsantrasyonlarının fazla olması durumunda toprak tuzluluğu ortaya çıkmakta (Shrivastava ve Kumar, 2015), bu da bitkilerin tuz stresine girmesine neden olmaktadır. Tuzluluk, tarımsal alanlarda bitkisel üretimi sınırlayan önemli abiyotik stres faktörlerinin başında yer almaktadır. Tuzlulaşan topraklar ve sulama suları bitkilerin büyüme ve gelişmesini engellediği gibi kullanılabilir tarım arazileri ve su kaynaklarının azalmasına da neden olmaktadır (Sivritepe, 1995). Topraklarda tuzluluğun artması aynı zamanda kuraklığı hızlandırmakta veya tersi olarak kuraklığın etkisiyle topraklar tuzlulaşmaktadır (Koca, 2007). Dünya genelinde toplam ekili tarımın %20'sinin ve sulanan tarım arazilerinin %33'ünün yüksek tuzluluktan etkilendiği tahmin edilmektedir. Ekilebilir arazilerin %50'sinden fazlasının 2050 yılına kadar tuzlanacağı tahmin edilmektedir (Shrivastava ve Kumar, 2015). Toprakların ve suların tuzlanmasının nedeni, suda çözünebilir tuzların yeraltında, toprakta ve suda birikmesidir. Tuzlar; bitkilerin vejetasyon dönemi boyunca, evaporasyon ve transpirasyondan kalan kalıntılar şeklinde bitki bünyesinde birikebilmektedir. Yaprak ve diğer bitki kısımlarının kuruyarak yere düşmelerinden sonra da tuzlar, yağışlarla toprağa tekrar geri dönebilmektedir. Toprak tuzluluğu, topraktan oluşan evaporasyonun yıl boyunca toprağa süzülen yağış miktarından daha fazla olduğu kurak ve yarı kurak iklim bölgelerinde daha yoğun olarak karşımıza çıkmaktadır (Shafiq Ur Rahman Harris vd., 2005). Bu bölgelerde yağışların yetersiz olması suda eriyebilir tuzların uzaklara taşınmasını engellemekte, özellikle drenajın olmadığı veya yetersiz olduğu yerlerde tuzlu taban suları kılcal yükselme ile toprak yüzeyine kadar ulaşabilmektedir. Evaporasyonun yüksek olması nedeniyle sular, toprak yüzeyinden kaybolurken, beraberinde taşıdıkları tuzları da toprak yüzeyinde veya yüzeye yakın kısımlarda bırakmaktadır (Saruhan vd., 2008). Yine sulamada yapılan hatalar nedeniyle topraklar tuzdan etkilenebilir. Bunlar dışında kışın karayollarında buzlanmayı önlemek için yapılan tuzlama çalışmaları ve rakımı düşük ve denize yakın bölgelerde denizin taşması da tuzlanmaya neden olan diğer faktörler arasında sayılabilmektedir (Sivritepe, 1995; El-Swaify, 2000). Toprakta ve sulama suyunda biriken ve stres oluşturan tuzlar genellikle, klorürler (NaCl, CaCl₂, MgCl₂), sülfatlar (Na₂SO₄, MgSO₄), nitratlar (NaNO₃, KNO₃), karbonatlar (Na₂CO₃, NaHCO₃) ve boratlardır. Sodyum klorür (NaCl) ise en fazla rastlanan, çözünürlüğü çok yüksek olmasından dolayı da toksik etkisi en fazla olan tuzdur. Bu nedenle bitkilerde görülen tuz stresi çoğu kez sodyum (Na⁺) tuzlarından, özellikle de NaCl tuzundan kaynaklanmaktadır (Sivritepe, 1995; El-Swaify, 2000; Walker vd., 2004; Grimplet vd., 2007; Ben Ahmed vd., 2008). Na⁺ kökleri tarafından tutunabildiğinden dolayı, yapraklarda klor (Cl⁻) birikimi, Na⁺ birikiminden daha büyük problemlere yol açmakta (Tester ve Davenport, 2003) hatta 200 mM üzerindeki Cl⁻ konsantrasyonları geri dönüşümsüz fizyolojik zararlanmalara neden olmaktadır (Grimplet vd., 2007). Bu

nedenlerden dolayı Walker vd. (2004) ve Walker vd. (2010) asmanın Cl⁻ toksitesine Na⁺'dan daha hassas olduğunu belirtmişlerdir. Asmanın Cl⁻'a karşı daha hassas olmasının nedeni Cl⁻'un metabolik olarak daha toksik olmasından değil, sadece Na⁺'un birikiminden daha iyi kaçınabildiklerinden kaynaklanmaktadır (Munns ve Tester, 2008).

Bitkilerin tuzluluğa karşı göstermiş oldukları tepkiler farklılık göstermektedir. Bazı bitkiler tuzluluğa karşı daha hassas iken (glikofitler), bazı bitkiler daha dayanıklıdır (halofitler) (Sairam ve Tyagi, 2004; Dajic, 2006). Asma ise tuzluluğa karşı hassas olan bitkiler grubuna girmektedir (Walker vd., 2002; Shai ve Ben Gal, 2005; Ben Asher vd., 2006; Vincent vd., 2007; Grimplet vd., 2007; Sivritepe vd., 2010; Upreti ve Murti, 2010). Asmalardaki tuz stresi çok farklı şekillerde ortaya çıkmakla birlikte, genel olarak su stresine bağlı ve su stresi ile birbirini destekler şekilde ortaya çıkmaktadır. Tuz toksitesinin ilk belirtileri yaşlı yaprakların uçlarından başlayıp yaprak ayasına ve sapına doğru ilerleyen ve daha sonra nekrozlara dönüşen klorozlardır (Dardeniz vd., 2006; Müftüoğlu vd., 2006). Tuz stresine maruz kalan bitkilerde ortaya çıkan nekrozların oksijen radikallerince gerçekleştirilen lipid tahribatından, klorozun ise oksijen radikallerinin klorofil parçalamasından kaynaklandığı belirtilmiştir (Gossett vd., 1994; Streb ve Feierabend, 1996). Yine tuz toksitesinin asmalarda gösterdiği en önemli zarar büyüme ve gelişmenin engellenmesidir. Tuz stresi bitki büyümesini iki şekilde sınırlandırmaktadır. Bunlardan ilki bitkinin su alımını sınırlandırarak ozmotik veya kuraklık stresi oluşturmaktadır. İkincisi ise, aşırı Na⁺ ve Cl⁻ alımına bağlı olarak iyon toksitesi yaratmasıdır (Zhu, 2001; Munns, 2002; Sinclair ve Hoffmann, 2003; Sairam ve Tyagi, 2004; Cramer vd., 2007; Alizadeh vd., 2010; Sivritepe vd., 2010). Aslında tuz ve su stresleri arasında ayırt edilmesi güç bir ilişki vardır. Topraktaki optimum su içeriği besin elementi çözünürlüğünü ve difüzyonunu etkileyerek kök bölgesindeki besin elementi yarayışlılığını sınırlandırmakta ve dolayısıyla bitki üzerinde tuzluluğun etkisini şiddetlendirmektedir (Paranychianakis ve Angelakis, 2008). Topraktaki tuz seviyesinin artışı ile suyun ozmotik potansiyeli düşmekte bu da bitkiyi ikincil bir strese, yani fizyolojik kuraklık stresine maruz bırakmaktadır (Mahajan ve Tuteja, 2005; Ben Ahmed vd., 2008). Bu nedenle tuz stresinden kaynaklanan iyon toksitesi birincil stres, kuraklık stresi ile ilgili olan etkileri ise ikincil stres olarak tanımlanmaktadır.

2.3. Tuz ve Su Stresinin Asmalarda Genotipler Üzerine Etkisi

Strese olan tolerans bakımından familya, cins ve türler arasında farklılıklar bulunabildiği gibi, aynı türe ait çeşitler arasında da farklılıkların bulunduğu bilinmektedir (Müftüoğlu vd., 2006; Dardeniz vd., 2006). Asma çeşitleri arasında su kullanım etkinliği bakımından oldukça büyük farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklılıklar büyük ölçüde su eksikliğine karşı yanıt olarak stoma iletkenliğindeki varyasyondan kaynaklanabildiği gibi (Bota vd., 2001; Soar vd., 2006), genotiplerin kök hidrolik iletimindeki ve su kanal porlarındaki farklılıklardan da kaynaklanabilmektedir (Vandeleur vd., 2008). Tuza dayanıklı çeşitlerde, Na⁺ ve Cl⁻'un yaşlı yapraklardan genç yapraklara taşınımı engellenmektedir. Bu sayede yaşlı yaprakların Na⁺ konsantrasyonu genç yapraklara göre daha düşük olurken, potasyum (K⁺) konsantrasyonlarında ise tersine bir durum söz konusu olmakta ve bu şekilde ozmotik basınç artırılarak tuzluluğa tolerans sağlanmaktadır (Güneş vd., 2003). Tuza dayanıklı olan çeşitlerin tuzlu ortamlarda büyüme oranlarını diğer

çeşitlere göre daha iyi koruyabildikleri ve klorofil noksanlığı gibi metabolik bozukluklardan sakınabildikleri bildirilmiştir. Ayrıca kökleri ile daha az Na⁺ alıp, bunu yapraklarından uzak tutabilen dolayısıyla iyon dengelerini koruyabilen çeşitlerin tuza daha dayanıklı olduklarını tespit edilmiştir (Sivritepe ve Eriş, 1999). Lovisolo vd. (2008) *V. berlandieri* x *V. Rupestris* (140 Ru, 775 P, 1103 P) ve *V. berlandieri* x *V. riparia* (SO4, 157.11, 420 A, Kober 5 BB) melezi anaçlara su stresi uyguladıklarında topraktan su alımının ve dolayısıyla da sürgün ve kök gelişiminin *V. berlandieri* x *V. rupestris* melezlerinde daha iyi olduğunu tespit etmişlerdir. Nitekim Cuneo vd. (2021) çalışmalarında, kök ucu uzama oranlarının kuraklığa dayanıklı anaç olan 110 R'de yeniden sulamadan sonra hızlı toparlanma gösterirken, kuraklığa duyarlı anaç olan 101-14 Mgt'de bu oranın düşmeye devam ettiğini bildirmişlerdir.

2.4. Tuz ve Su Stresinin Asmalarda Fizyolojik Değişimler Üzerine Etkileri

Asmalar kuraklık stresine ilk olarak stomalarını kapatarak cevap vermektedirler (Cifre vd., 2005). Stomada bulunan bekçi hücrelerdeki su alımı veya kaybı turgorun değişmesine neden olarak stomaların açılma-kapanma mekanizmasına etki etmektedir (Kaçar vd., 2009). Stomaların kapanması hidropasif ve hidroaktif kapanma olmak üzere iki şekilde meydana gelmektedir. Bekçi hücrelerin direkt olarak çok hızlı su kaybetmesi stomaların hidropasif kapanmasına neden olur ki burada herhangi bir metabolik olay söz konusu değildir. Hidroaktif kapanma ise metabolik olayların ve iyonların etkisi altında gerçekleşmektedir. Yapılan çalışmalarda stomaların kapanmasıyla absisik asit (ABA)'ın direkt ilişkili olduğu ortaya konmuştur (Cifre vd., 2005; Mahajan ve Tuteja, 2005). Köklerde sentezlenen ABA herhangi bir kuraklık durumunda ksilemdeki pH artışıyla birlikte sürgünlere taşınmakta ve oradan da yapraklara ulaşmaktadır (Borel ve Simonneau, 2002; Beis vd., 2009; Cramer, 2010). ABA bekçi hücrelerinden K⁺ iyonlarının akışını sağlayarak, iyon konsantrasyonunu azaltmakta ve suda çözünmeyen nişasta oluşmaktadır. Böylece ozmotik basıncı azalan stoma hücreleri turgorunu kaybederek kapanmaktadır (Mahajan ve Tuteja, 2005; Çırak ve Esenal, 2006). Yine benzer şekilde tuz stresi altında ortamda Na⁺ ve Cl⁻ iyonlarının çok fazla birikmesi K⁺ iyonlarının azalmasına neden olarak stomaların kapanmasına etki etmektedir (Mansour vd., 2003). Stres durumunda stomaların kapanması su buharı iletiminin azalmasına neden olarak transpirasyonu yavaşlatmaktadır (Tezara vd., 1999). Sivritepe (2000), Müşküle ve Sultani Çekirdeksiz üzüm çeşitlerinde tuz stresinin stoma iletkenliği ve transpirasyonun önemli derecede etkilendiğini, Çavuş çeşidinde ise kontrollü bir azalma ile bu fizyolojik aktivitelerin devam ettiğini bildirmiştir. Tuzluluğun artmasıyla birlikte Müşküle üzüm çeşidinde yaprak oransal su kapsamının azaldığı, turgor kaybının ise arttığı ancak Çavuş çeşidinde yaprak oransal su kapsamı ve turgorun korunduğu dolayısıyla diğer çeşitlere kıyasla tuza daha dayanıklı olduğu sonucuna varılmıştır.

Kuraklık ve tuz stresi altındaki bitkilerin klorofil miktarı azalmakta ve net fotosentez büyük oranda engellenmektedir (Dajic, 2006; Bertamini vd., 2007). Bir bitkinin fotosentez aktivitesi, o bitkideki toplam yaprak alanı ile doğru orantılıdır. Bitkiler kuraklık stresine cevap olarak yaprak alanlarını azaltmakta buda fotosentezin yavaşlamasına neden olmaktadır. Kuraklık ve tuz stresi altında bitkilerin fotosentez aktivitesi stomaların kapanması, enzim aktivitesinin azalması ve klorofil yetersizliği gibi nedenlerden dolayı engellenmektedir. Artan stres koşullarında stomaların kapanması havadan karbondioksit alımını

engelleyerek difüzyonu kısıtlamakta bu da fotosentezin azalmasına neden olmaktadır (Bota vd., 2004; Bertamini vd., 2007). Nitekim asmalarda tuz stresinin stoma hareketleri üzerine etkilerini incelemek amacıyla bir çalışma gerçekleştiren Downton vd. (1990), tuz konsantrasyonunun artmasıyla birlikte hücrelerde karbondioksit (CO₂) basıncının, buna bağlı olarak fotosentezin ve stoma hareketinin azaldığını tespit etmişlerdir. Bir diğer fotosentezin etkinliğini azaltan faktör stresin artmasıyla fotosentez süresince CO₂'i fiske etmek için kullanılan ribuloz-1,5-bifosfat karboksilaz (Rubisco) enziminin aktivitesinin azalmasıdır (Bota vd., 2004; Mahajan ve Tuteja, 2005; Dajic, 2006; Yokota vd., 2006; Flexas vd., 2010). Bu enzimin aktivitesinin azalmasıyla CO₂ fiksasyonu sekteye uğramakta ve CO₂ fiksasyonunda kullanılmayan elektronlar ile absorbe edilen ışık enerjisi oksijen (O₂)'nin aktivasyonunda kullanılarak dokularda reaktif oksijen türlerinin oluşumuna neden olmaktadır (Peltzer vd., 2002). Bitkilerde artan düzeylerde sentezlenen bu reaktif oksijen türleri hücrelere zarar vermekte, özellikle yavaşlama sürecine giren fotosentezin etkinliğini daha da sınırlandırmaktadır (Mahajan ve Tuteja, 2005). Kök bölgesinde aşırı NaCl yoğunluğu, Na⁺'un yapraklarda birikimine neden olarak klorofil moleküllerinin magnezyum iyonları ile yer değiştirmesine ve klorofillerin yapısının bozulmasını sağlayarak klorozun ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Avcıoğlu vd., 2003). Artan kuraklık ve tuz stresinde klorofil sentezi için gerekli olan enzimler işlevlerini sürdürememekte ve sonucunda klorofil biyosentezi gerçekleştirilemediğinden, klorofil yetersizliği nedeniyle fotosentezde ihtiyaç duyulan ışık enerjisi sağlanamamakta ve fotosentez oranı azalmaktadır (Al Absi, 2005; Bertamini vd., 2006; Dajic, 2006).

Bitkilerde fotosentezin yavaşlamasıyla birlikte, fotosentez ürünlerinin büyük bölümü kök gelişimi için köklere taşınmaktadır. Bu olay köklerin ozmotik basınçlarının artmasına neden olarak su emme güçlerini yükseltmektedir. Böylece kök gelişimi hızlanarak kökün gövdeye oranı artmakta (Öztürk ve Seçmen, 1992) ve sürgün gelişimi zayıflamaktadır (Sinclair ve Hoffmann, 2003; Mahajan ve Tuteja, 2005; Cramer vd., 2007; Grimplet vd., 2007; Munns ve Tester, 2008). Sürgün büyümesinde meydana gelen değişiklik su eksikliğinin gözlemlenebilir en hassas belirtisi olmakla birlikte çoğu zaman yaprak su potansiyelindeki değişikliklerden bile önce ortaya çıkabilmektedir (Pavlousek, 2011). Nitekim asmalarda kuraklığın ve tuzluluğun artmasıyla birlikte tüm vejetatif parametrelerde düşme olduğu bildirilmiştir (Paranychianakis vd., 2004; Müftüoğlu vd., 2006; Cramer vd., 2007).

Toprak tuzluluğundaki ani bir artış ve meydana gelen su eksikliği yaprak hücrelerinde su kaybına neden olmaktadır (Munns ve Tester, 2008). Bitkilerin su içeriği azaldıkça hücreler büzülerek hücre çeperleri gevşemektedir. Yaprak yüzey genişliği büyük ölçüde hücre genişlemesine bağlı olduğundan, su stresinin erken dönemlerinde hücre genişlemesinin engellenmesi yaprak yüzey genişlemesini yavaşlatmakta ve sonucunda transpirasyonla meydana gelen su kaybı azalmaktadır. Böylece topraktaki kısıtlı miktardaki suyun uzun bir süre etkili bir şekilde korunması sağlanmaktadır (Taiz ve Zeiger, 2008). Bitkiler su kaybını azaltabilmek için yapraklarını dökmek suretiyle de yaprak sayılarını ve toplam yaprak alanlarını azaltmaya çalışmaktadırlar (Gómez-del-Campo vd., 2002; Mahajan ve Tuteja, 2005). Kısa süreli kuraklık bile fotosentezin azalmasıyla ilişkili olarak yaprak büyümesini yavaşlatabilmektedir (Sinclair ve Hoffmann, 2003). Munns ve Tester (2008) ve Cramer (2010)'in belirttiklerine göre yaprak büyümesinin sınırlandırılmasında ABA da etkili

olmaktadır. Ben Asher vd. (2006) çalışmalarında, Cabernet Sauvignon üzüm çeşidine farklı konsantrasyonlarda tuz uygulamışlar ve sonucunda artan tuzluluk seviyesinde yaprak yeşil alan indeksinde %40'a varan azalma saptamışlardır. Buradan da yaprak alanına bağlı olarak fotosentez oranının etkileneceğine ve dolayısıyla da toplam verimin bundan etkileneceği sonucuna varmışlardır.

2.5. Tuz ve Su Stresinin Asmalarda Biyokimyasal Değişimler Üzerine Etkileri

Stres altındaki bitkiler, strese karşı toleranslarını artırabilmek için hücrelerinde ozmolitler veya ozmotik koruyucular diye de adlandırılan düşük molekül ağırlıklı moleküllerin konsantrasyonlarını artırmak suretiyle ozmotik potansiyellerini düzenlemeye çalışmaktadırlar (Sairam ve Tyagi, 2004; Yokota vd., 2006; Ben Ahmed vd., 2008; Taiz ve Zeiger, 2008). Bu ozmolitler azotlu bileşikler (alanin, arjinin, glisin, serin, prolin, glutamin, asparajin, glisin betain, putresin, spermidin, spermin, kadaverin, protein), çözünebilir şekerler (glukoz, fruktoz, sukroz, trehaloz, fruktanlar) ve polioller (mannitol, gliserol, sorbitol, ononitol, pinitol) dir (Yıldız vd., 2010). Strese tepki olarak ozmotik potansiyeldeki azalma kuraklık stresine uyum bakımından pek çok bitkide iyi bir mekanizmaya sahiptir. Ozmotik potansiyeldeki azalma ya dehidrasyon yoluyla çözünenlerin pasif konsantrasyonlarının ya da çözünenlerinin birikiminin bir sonucu olarak meydana gelmektedir. Ancak ozmotik ayarlama daha çok çözünenlerin birikiminin etkili olduğu düşünülmektedir (Patakas ve Noitsakis, 2001). Tezara vd. (1999), bitkilerin transpirasyonla kaybettikleri su, topraktan aldıkları sudan daha fazla olduğunda, bağıl su içeriği, su potansiyeli ve hücrelerin turgorlarında azalma gözlemlendiğini, hücrelerdeki iyonların ve diğer çözünen maddelerin miktarlarında ise artma meydana geldiğini dolayısıyla da ozmotik potansiyelin azaldığını belirtmişlerdir. Hücrelerde bu ozmolitlerin birikimi hücre içindeki su potansiyelinin düşmesine neden olarak hücreler arası su kaybını önlemekte (Mahajan ve Tuteja, 2005), turgorlarını kaybetmeksizin yüksek evaporasyona dayanımlarını kolaylaştırmaktadır (Ben Ahmed vd., 2008). Ayrıca ozmolitler özellikle tuzluluk koşullarında artan Na⁺ etkisi nedeniyle, aktivitesi engellenen enzimlerin (Zhu, 2001) stabil kalmasını sağlamakta (Yokota vd., 2006), hatta bunlardan bazıları reaktif oksijen türlerinin zararlı etkilerini detoksifiye etmektedirler (Akashi vd., 2001; Cramer, 2010).

Yapraklarda şeker birikiminin artması bitkilerin strese verdikleri cevapta moleküler sinyal olarak çalışmaktadır (Chaves vd., 2003). Özellikle yapılan çalışmalarla da kuraklık stresi altındaki bitkilerin yapraklarında daha basit şekerler olan glukoz ve fruktoz birikiminin olduğu tespit edilmiştir (Trouverie vd., 2003). Başlangıçta nişasta miktarı normal seviyedeysen stresin artmasıyla birlikte nişasta miktarı azalmakta, çözünebilir şeker konsantrasyonlarında ise artış meydana gelmektedir (Kerepesi ve Galiba, 2000; Parida vd., 2002). Farshadfar vd. (2008) ise yüksek çözünebilir şeker içeriğine sahip genotiplerin kurağa dayanım gösterdiklerini belirtmişlerdir.

Ozmotik ayarlama yeteneği büyük ölçüde yaprak yaşına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Gelişmenin farklı aşamasındaki veya yaşındaki yaprakların su stresine hassasiyetleri de farklı olmaktadır. Cramer (2010), su stresi altındaki bitkilerde tuz stresi altındaki bitkilere kıyasla daha yüksek konsantrasyonda glukoz, malat ve prolin birikiminin görüldüğünü belirtirken, Ben Ahmed vd. (2008) ise stres karşısında bitkilerde biriken bu prolin miktarının türe göre

değiştiğini vurgulamışlardır. Bertamini ve Nedunchezian (2002) araştırmalarında, bağda yetişen Pinot Noir üzüm çeşidinde klorofil, Rubisco, çözünebilir protein, fotosentetik aktivite ve tilakoid membran proteinlerindeki değişimleri incelemişlerdir. Analizlerde sürgünün en alt kısmındaki, orta kısmındaki ve uç kısmındaki yaprakları kullanmışlardır. Buna göre orta ve uç kısımlardaki yapraklarda toplam klorofil ve çözünebilir protein miktarı yüksek bulunurken, en alt kısımdaki yapraklarda ise az bulunmuştur.

Tuz stresi altındaki bitkilerin iyon dengesinin bozulmasıyla birlikte mineral madde konsantrasyonlarında önemli derecede değişiklikler meydana gelmektedir. Özellikle hücrelerde Na^+ ve Cl^- un aşırı birikimi nedeniyle iyon dengesizliği meydana gelmekte, potasyum, kalsiyum ve mangan gibi diğer mineral maddelerin alımı azalmaktadır (Charbaji ve Ayyoubi, 2004). İyon dengesizliği ve köklerde hücre zarı geçirgenliğinin bozulması bitkinin beslenme rejimini etkileyerek (Bohra ve Döfling, 1993), metabolik olaylarda kullanılan temel bazı elementlerin alımını önlemekte, bu da bir takım fizyolojik problemlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Villora vd., 1997). Ayrıca optimum toprak su içeriği, besin elementi çözünürlüğünü ve difüzyonunu etkileyerek köklerdeki besin elementi yarayışlılığını sınırlandırmakta ve dolayısıyla bitki performansı üzerinde tuzluluğun etkisini şiddetlendirmektedir (Paranychianakis ve Angelakis, 2008). Tuz stresinin tipik etkilerinden birisi olan yaprak yaşlanması Na^+ ve Cl^- gibi toksik iyonların birikmesi veya K^+ ve Ca^{2+} gibi iyonların ortamda azalmasıyla ilişkilendirilmektedir. Ayrıca magnezyum (Mg) iyonu da yaprak yaşlanması ile ilgili süreçlerde ve protein sentezinin düzenlenmesinde çok önemli rol oynamaktadır. Mg absorpsiyonundaki azalma klorofil miktarının da azalmasına neden olmaktadır (Lutts vd., 1996). Rugeri ve Salt Creek üzerine aşılı Cabernet Sauvignon üzüm çeşidinde tuzluluğun Na, Ca, K, Mg, Zn ve Mn gibi iyonların birikimine, turgora, verim ve kaliteye etkilerini inceleyen Hepaksoy vd. (2006), artan tuzluluğa bağlı olarak bitki gelişiminin ve bitki besin maddesi alımının azaldığını belirtmişlerdir.

Bitkilerde meydana gelen kuraklık ve tuz stresi, hücrelerin zararlanmasına neden olarak oksidatif stres gibi ikincil stres durumlarının ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Wang vd., 2003; Agarwal ve Pandey, 2004). Hücrelerde oluşan oksidatif stres, zararlı olan süperoksit radikalleri (O_2^-), singlet oksijen ($^1\text{O}_2$), hidrojen peroksit (H_2O_2) ve hidroksil radikalleri (OH^\cdot) gibi reaktif oksijen türlerinin dokularda birikmesiyle meydana gelmektedir (Sairam ve Tyagi, 2004; Gill ve Tuteja, 2010). Çoğunluğunu serbest radikallerin oluşturduğu reaktif oksijen türleri, normal oksijen molekülleriyle karşılaştırıldığında, kimyasal reaktivitesi daha yüksek olan oksijen formları oldukları görülmektedir (Nawar, 1996). Serbest radikaller, orbitallerinde bir veya daha fazla eşleşmemiş elektron bulundurduklarından dolayı oldukça kararsız yapı gösterirler. Bu kararsız yapılarını giderebilmek için oksijen atomunun dış yörüngesindeki iki elektronu ortaklaşa kullanarak oksijen radikallerini oluşturmaktadırlar (Stahl vd., 2002). Genel olarak stres koşulları mitokondri ve kloroplastlarda elektron iletimini engelleyerek elektron sızıntısının meydana gelmesine neden olmaktadır. Bu elektronun ortamda bulunan oksijen tarafından alınmasıyla oksijen indirgenmesinin ilk ürünü olan süperoksit radikali (O_2^-) oluşmaktadır (Mehler reaksiyonu). Aslında serbest radikallerden biri olan süperoksitin tek başına bir etkisi bulunmamaktadır. Fakat pH'a bağlı olarak kendiliğinden veya süperoksit dismutaz (SOD) enzimi ile reaksiyona girerek hidrojen peroksit (H_2O_2) kaynağı

olmalarından dolayı oldukça önem taşımaktadırlar (Ayhan, 2006). Hidrojen peroksit serbest radikal olmadığı halde reaktif oksijen türleri arasında oldukça önemli bir yeri bulunmaktadır. Hidrojen peroksit eğer hücrelerden hızla uzaklaştırılmazsa, süperoksit ile reaksiyona girerek en zarar verici hidroksil radikalinin oluşumunu kolaylaştırmaktadır (Wang vd., 1999). Hidrojen peroksitin süper oksit radikale göre daha uzun bir yarılanma ömrüne sahip olması, süperoksitten daha etkili bir sinyal molekülü olduğunu göstermektedir (Desikan vd., 2004). Katalaz (CAT) ve askorbat peroksidaz (APX) gibi antioksidanlar hidrojen peroksitin parçalanmasını katalizlemektedirler (Garratt vd., 2002). Tüm bu reaksiyonlar meydana gelirken ortamda hem O_2^- hem de H_2O_2 radikalleri bulunmaktadır. Bu radikaller birbirleriyle tepkimeye girerek çok daha tehlikeli bir radikal olan hidroksil radikalini (OH^\cdot) meydana getirmektedirler (Haber-Weiss reaksiyonu). Normal koşullarda bu reaksiyon çok yavaş yürüdüğünden hücreye çok fazla zararı olmamaktadır. Ancak ortamda katalizör olarak görev yapan bir metal bulunduğunda reaksiyonun hızı artmakta (Fenton reaksiyonu) ve hücre daha çok zarar görmektedir (Gill ve Tuteja, 2010).

Stres faktörleri reaktif oksijen türlerinin bitkideki miktarlarının artmasına neden olarak hücrelere zarar vermekte, özellikle yavaşlama sürecine giren fotosentezin etkinliğini daha da sınırlandırmaktadır (Karanlık, 2001). Sentezlenen serbest oksijen radikalleri, klorofil, membran lipitleri, protein ve DNA gibi hücre komponentlerini bozmakta ve sonunda hücre ölümüne yol açmaktadır (Güneş vd., 2006; Özden vd., 2009; Gill ve Tuteja, 2010). Stres altındaki canlıların genelinde olduğu gibi bitkilerde de stres karşısında serbest oksijen radikallerini zararsız bileşiklere dönüştüren enzimatik süper oksit dismutaz (SOD), askorbat peroksidaz (APX), glutatyon redüktaz (GR), katalaz (CAT)) ve enzimatik olmayan (E vitamini, C vitamini, glutatyon, flavonoidler ve karotenoidler) antioksidan savunma mekanizmaları bulunmaktadır (Agarwal ve Pandey, 2004; Singh vd., 2008; Yaşar vd., 2008; Berli vd., 2010). Özellikle son yıllarda reaktif oksijen türlerinin etkilerinin inhibe edilmesinde enzimatik olmayan antioksidanlar listesine prolinde ilave edilmiştir. Bitkilerdeki bu antioksidan miktarları ve antioksidan enzim aktiviteleri yüksek olduğunda, o bitkiler oksidatif zararlanmaya karşı daha dayanıklı olmakta ve stresin üstesinden gelebilmektedirler. Aksi durumda yani bitkilerde bu antioksidan savunma sistemlerinin çalışmadığı veya yetersiz olduğu durumlarda ise hücrelerde ölüm gerçekleşmektedir (Gill ve Tuteja, 2010). Enzimatik olmayan antioksidanlardan biri olan α -tokoferol (E vitamini), lipid radikallerinin ve reaktif oksijen türlerinin uzaklaştırılmasında etkili olan lipid çözücü bir antioksidandır (Hollanger Czytko vd., 2005) ve membranlardaki singlet oksijeni inaktive ederek membran stabilitesinin korunmasına yardımcı olmaktadır (Trebst vd., 2002). Askorbat ise H_2O_2 ile non-enzimatik olarak tepkimeye girmekte ve reaksiyon kloroplastlardaki askorbat peroksidaz (APX) tarafından katalizlenmektedir. H_2O_2 çok düşük konsantrasyonlarda bile oldukça zararlı olması nedeniyle detoksifikasyonu çok önemlidir. Kloroplastlarda H_2O_2 'i uzaklaştıran katalaz (CAT) enzimi bulunmadığından, kloroplastlarda H_2O_2 'i elemine etmede en önemli rolü askorbat oynamaktadır (Kalefetoğlu, 2006). Askorbat, serbest radikalleri indirgeyici özelliği yanında tokoferol ve zeaksantin gibi membran bağlı antioksidanları rejenere etme yeteneğine de sahip olması nedeniyle ayrı bir önem taşımaktadır (Foyer, 1993). Glutatyon oksidasyon sırasında okside glutatyon ürettiğinden bunun glutatyona indirgenmesi glutatyon redüktaz (GR) enzimi tarafından katalizlenmektedir. Reaktif oksijen türlerini uzaklaştıran glutatyon aynı zamanda membran yapısının

stabil kalmasına da yardımcı olmaktadır (Kalefetoğlu, 2006). Karotenoidler, absorbe ettikleri ışığın klorofillere transferini ve tilakoid membran stabilitesini sağlayarak zararlı olan serbest klorofillerin ve reaktif oksijen türlerinin zararlarını önlemektedirler (Collins, 2001; Niyogi vd., 2001). Antosiyaninler sekonder bitki metabolitlerinin alt grubuna dahil olan fenolik bileşiklerdir (Iwashina, 2000). Sitoplazmada flavonoid biyosentez yolu sonunda sentezlenen antosiyaninler, aktif transportla vakuole taşınarak orada depo maddesi olarak birirmektedirler (Holton ve Cornish, 1995). Suda çözünür bileşiklerdir ve vakuolde çözülmüş olarak bulunmaktadırlar (Curtright vd., 1996). Araştırmalarında 110 R anacı üzerine aşılı Sultani Çekirdeksiz üzüm çeşidine su ve UV-B stresi uygulayan Doupis vd. (2011) prolin birikiminin su stresi karşısında önemli derecede arttığını ve stres karşısında artan antioksidan enzim aktivitelerinin adaptasyon mekanizmasında etkili olduğunu bildirmişlerdir.

Serbest oksijen radikalleri, hücrel membranlara lipid peroksidasyonu yoluyla zarar vermektedir. Lipid peroksidasyonu başlangıç, uzama ve sonlanma olmak üzere üç farklı adımda gerçekleşmekte ve reaksiyon sonunda lipid peroksidasyonunun en önemli ve en reaktif ürünü olan malondialdehit (MDA) ortaya çıkmaktadır. MDA, enzimatik olmayan oksidatif lipid peroksidasyonunun parçalanması sonucu oluşan toksik etkili son ürünlerden birisidir. Oluşan MDA, hücre membranlarından iyon alış verişini etkileyerek membranlardaki bileşiklerin çapraz bağlanmasına yol açmakta ve iyon geçirgenliği ile enzim aktivitesinin değişimi gibi olumsuz sonuçlara neden olmaktadır (Çınar, 2005). Toumi vd. (2008) çalışmalarında, kuraklık stresi altındaki 4 farklı üzüm çeşidinin hem lipid akümülyasyonu, hem de lipid kompozisyonunda meydana gelen farklılıkları incelemişlerdir. Kahli Kerkennh ve Cardinal gibi dayanıklı çeşitlerde, Guelb Sardouk ve Superior Seedless gibi hassas çeşitlere göre yaprak su potansiyeli yüksek ve lipid peroksidasyonu ise düşük bulunmuştur. Toplam lipid miktarının stres süresince sadece dayanıklı çeşitlerin yapraklarında artış gösterdiği belirlenmiştir. Yine *Vitis vinifera* L. cv. Öküzgözü çeşidinde hidrojen peroksit, antioksidan enzim aktiviteleri ve MDA üzerinde engelleyici etkide bulunduğu saptanmıştır. Prolin ve hidrojen peroksit *in vitro* kültürde yetişen asma yapraklarının oksidatif stres zararlanmasında önemli rol oynadıkları belirtilmiştir. Ayrıca prolinin antioksidan enzim sistemlerini ve MDA'yı direkt olarak olumlu etkilediğini belirtmişlerdir (Özden vd., 2009).

3. Sonuç

Diğer bitki türlerinde olduğu gibi asmalarda da hem su hem de tuz stresi ve beraberinde ortaya çıkan oksidatif stres birçok fizyolojik ve biyokimyasal olayı olumsuz etkileyerek ürün verim ve kalitesinde önemli düşümlere neden olmaktadır. Bitkiler bu stres faktörlerine karşı çoklu tolerans stratejileri geliştirmekle beraber belirli parametrelerde değişiklikler olmakta ve bu değişiklikler iki faktör açısından değerlendirildiğinde birbirine yakın sonuçlar vermektedir. Yapılan literatür taramaları sonucunda ülkemizde bu konu ile ilgili olarak asma da yapılan çalışmaların oldukça az bir kısmının fizyolojik ve biyokimyasal temelli olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, dünyada tuz ve su stresinin bitkideki etkileri ve bu etkilere karşı bitkilerin verdikleri karmaşık cevaplar üzerine araştırmalar yoğun şekilde devam etmektedir.

Kaynakça

- Agarwal, S., & Pandey, V. (2004). Antioxidant enzyme responses to NaCl stress in *Cassia angustifolia*. *Biologia Plantarum*, 48(4), 555-560.
- Akashi, K., Miyake, C., & Yokota, A. (2001). Citrulline, a novel compatible solute in drought-tolerant wild watermelon leaves, is an efficient hydroxyl radical scavenger. *Febs Letters*, 508(3), 438-442.
- Al Absi, K.M. (2005). Response of grapevine to irrigation with multicomponent electrolyte solutions in presence of chloride salinity. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 8 (2), 318-325.
- Alexieva, V, Ivanov, S, Sergiev, I, & Karanov, E. (2003). Interaction between stresses. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, Special Issue, 1-17.
- Alizadeh, M., Singh, S. K., Patel, V. B., Bhattacharya, R. C., & Yadav, B. P. (2010). *In vitro* responses of grape rootstocks to NaCl. *Biologia Plantarum*, 54(2), 381-385.
- Anonim (2020). <http://www.turktarim.gov.tr/Haber/223/kaynaktan-kullaniciya-ulasana-kadar-suyun-varisindan-fazlasikaybediliyor> (Erişim tarihi: 15.04.2020)
- Avcıoğlu, R., Demiroğlu, G., Khalvati, M.A., & Geren, H. (2003). Ozmotik basıncın bazı kültür bitkilerinin erken gelişme dönemindeki etkileri. II. Prolin, klorofil birikimi ve zar dayanıklılığı. *Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi*, 40 (2): 9-16.
- Ayhan, B. (2006). Mısır (*Zea mays* L.)'ın bazı çeşitlerinde ağır metal (Cd, Pb) stresinin etkilerinin belirlenmesi. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 120 sayfa, Ankara.
- Beis, A., Zotos, A., & Patakas, A. (2009). Influence of sampling time and sap extraction methodology on xylem pH values in two grapevine varieties grown under drought conditions. *Environmental and Experimental Botany*, 67(2), 305-311.
- Ben Ahmed, C., Rouina, B. B., & Boukhris, M. (2008). Changes in water relations, photosynthetic activity and proline accumulation in one-year-old olive trees (*Olea europaea* L. cv. Chemlali) in response to NaCl salinity. *Acta Physiologica Plantarum*, 30(4), 553-560.
- Ben Asher, J., Tsuyuki, I., Bravdo, B.A., & Sagih, M. (2006). Irrigation of grapevines with saline water I. Leaf area index, stomatal conductance, transpiration and photosynthesis. *Agricultural Water Management*, 83, 13-21.
- Berli, F.J., Moreno, D., Piccoli, P., Viana, L.H., Silva, M.F., Smith, R.B., Cavagnaro, J.B., & Bottini, R. (2010). Abscisic acid is involved in the response of grape (*Vitis vinifera* L.) cv. Malbec leaf tissues to Ultraviolet-B radiation by enhancing ultraviolet-absorbing compounds, antioxidant enzymes and membrane sterols. *Plant, Cell and Environment*, 33. 1-10.
- Bertamini, M., & Nedunchezian, N. (2002). Leaf age effects on chlorophyll, Rubisco, photosynthetic electron transport activities and thylakoid membrane protein in field grown grapevine leaves. *Journal of Plant Physiology*, 159(7), 799-803.
- Bertamini, M., Zulini L., Muthuchelian, K., & Nedunchezian, N. (2006). Effect of water deficit on photosynthetic and other physiological responses in grapevine (*Vitis vinifera* L. cv. Riesling) plants. *Photosynthetica*, 44 (1): 151-154.
- Bertamini, M., Zulini, L., Muthuchelian, K., & Nedunchezian, N. (2007). Low night temperature effects on photosynthetic

- performance on two grapevine genotypes. *Biologia Plantarum*, 51 (2): 381-385.
- Bohra, J.S., & Döfling, K. (1993). Potassium nutrition of rice (*Oryza sativa* L.) varieties under NaCl salinity. *Plant and Soil*, 152: 299-303.
- Borel, C., & Simonneau, T. (2002). Is the ABA concentration in the sap collected by pressurizing leaves relevant for analyzing drought effects on stomata? Evidence from ABA-fed leaves of transgenic plants with modified capacities to synthesize ABA. *Journal of Experimental Botany*, 53 (367): 287-296.
- Bota, J., Flexas, J., & Medrano, H. (2001). Genetic variability of photosynthesis and water use in Balearic grapevine cultivars. *Annals of Applied Biology*, 138: 353-361.
- Bota, J., Medrano, H., & Flexas, J. (2004). Is photosynthesis limited by decreased rubisco activity and RuBP content under progressive water stress? *New Phytologist*, 162: 671-681.
- Charbaji, T., & Ayyoubi, Z. (2004). Differential growth of some grapevine varieties in syria in response to salt *in vitro*. *In Vitro Cellular and Developmental Biology Plant*, 40: 221-224.
- Chaves, M.M., Maroco, J.P., & Pereira, J.S. (2003). Understanding plant responses to drought from genes to the whole plant. *Functional Plant Biology*, 30: 239-264.
- Chaves, M.M., Santos, T.P., Souza, C.R., & Ortuño, M.F. (2007). Deficit irrigation in grapevine improves water-use efficiency while controlling vigour and production quality. *Annals of Applied Biology*, 16: 237-252.
- Chaves, M.M., Zarrouk, O., Francisco, J.M., Costa, T., Santos, A.P., Regalado, M.L., & Rodrigues, C.M. (2010). Grapevine under deficit irrigation: hints from physiological and molecular data. *Annals of Botany*, 105: 661-676.
- Cifre, J., Bota, J., Escalona, J.M., Medrano, H., & Flexas, J. (2005). Physiological tools for irrigation scheduling in grapevine (*Vitis vinifera* L.) an open gate to improve water-use efficiency? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 106: 159-170.
- Collins, A. (2001). Carotenoids and genomic stability. *Mutation Research*, 475, 1-28.
- Cramer, G.R., Ergül, A., Grimplet, J., & Tillet, R.L. (2007). Water and salinity stress in grapevines: early and late changes in transcript and metabolite profiles. *Functional and Integrative Genomics*, 7: 111-134.
- Cramer, G.R. (2010). Abiotic stress and plant responses from the whole vine to the genes. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 16: 86-93.
- Cuneo, I. F., Barrios-Masias, F., Knipfer, T., Uretsky, J., Reyes, C., Lenain, P., Brodersan, C.R., Walker, M.A., & McElrone, A. J. (2021). Differences in grapevine rootstock sensitivity and recovery from drought are linked to fine root cortical lacunae and root tip function. *New Phytologist*, 229(1): 272-283.
- Curtright, R., Rynearson, J.A., & Markwell, J. (1996). Anthocyanins: Model compounds for learning about more than pH. *Journal of Chemical Education*, 73: 306-309.
- Çınar, S. (2005). Mangan ve demir stresi uygulanmış roka (*Eruca sativa*) bitkisinde bazı antioksidan enzim aktivitelerindeki ve lipid peroksidasyon düzeylerindeki değişimlerin incelenmesi. Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim dalı, Yüksek Lisans Tezi, 102 sayfa, Manisa.
- Çırak, C., & Esendal, E. (2006). Soyada kuraklık stresi. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 21(2): 231-237.
- Dajic, Z. (2006). Salt stress. Physiology and molecular biology of stress tolerance in plants. (K.V.M. Rao and K.J. Reddy (eds)), Chapter 6: 345.
- Dardeniz, A., Müftüoğlu, N.M., Türkmen, C., & Sungur, A. (2006). Determination of relationship between water consumption and salt tolerance of some table grape cultivars. 18th International Soil Meeting on Soil Sustaining Life on Earth, *Managing Soil and Technology*, 2: 693-696.
- Deluc, L.G., Quilici, D.R., Decendit, A., Grimplet, J., Wheatley, M.D., Schlauchi, K.A., Merillon, J.M., Cushman, J.C., & Cramer, G.R. (2009). Water deficit alters differentially metabolic pathways affecting important flavor and quality traits in grape berries of Cabernet Sauvignon and Chardonnay. *BMC Genomics*, 10: 212-245.
- Desikan, R., Hancock, J.T., & Neill, S.J. (2004). Oxidative stress signalling. Plant responses to abiotic stress. Hirt, H. and Shinozaki, K. (eds.), pp. 121-149, Springer-Verlag, Berlin.
- Doupis, G., Chartzoulakis, K., Beis, A., & Patakas, A. (2011). Allometric and biochemical responses of grapevines subjected to drought and enhanced ultraviolet-B radiation. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 17: 36-42.
- Downton, W.J., Loveys, B.R., & Grant, W.J.R. (1990). Salinity effects on the stomatal behaviour of grapevine. *New Phytologist*, 116: 499-503.
- El-Swaify, S.A. (2000). Soil and water salinity. Plant Nutrient management in Hawaii's soils. Approaches for Tropical and Subtropical Agriculture, Chapter 17: 151-158.
- Eriş, A., Sivritepe, N., & Sivritepe, H.Ö. (1998). Asmalarda su stresine karşı ortaya çıkan bazı morfolojik ve fizyolojik reaksiyonlar. 4. Bağcılık Sempozyumu Bildirileri, 20-23 Ekim 1998, 64-69, Yalova.
- Eriş, A. (1990). Bahçe bitkileri fizyolojisi, Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Ders Notları No: 11, Bursa.
- Farshadfar, E., Ghasempour, H., & Vaezi, H. (2008). Molecular aspects of drought tolerance in bread wheat (*T. aestivum*). *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 11 (1): 118-122.
- Flexas, J., Escanola, J.M., & Medrano, H. (1999). Water stress induces different levels of photosynthesis and electron transport rate regulation in grapevines, *Plant Cell and Environment*, 22: 39.
- Flexas, J., Galmes, J., Galle, A., Gulias, J., Pou, A., Ribas-Carbo, M., Tomas, M., & Medrano, H. (2010). Improving water use efficiency in grapevines: potential physiological targets for biotechnological improvement. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 16 (1): 106-121.
- Foyer, C.H. (1993). Ascorbate. Antioxidants in higher plants. Alscher, R.G. and Hess, J.L. (eds.), CRC Press, Boca, Raton, pp. 31-52.
- Garratt, L.C., Janagoudar, B.S., Lowe, K.C., Anthony, P., Power, J.B., & Davey, M.R. (2002). Salinity tolerance and antioxidant status in cotton cultures, *Free Radical Biology and Medicine*, 33 (4): 502-511.
- Gill, S.S., & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crops. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48: 909-930.
- Gómez-del-Campo, M., Ruiz, C., & Lissarrague, J.R. (2002). The effect of water stress on leaf area development, photosynthesis and productivity in Chardonnay and Airén grapevines. *American Journal of Enology and Viticulture*, 53: 138-143.
- Gong, H., Blackmore, D.H., & Walker, R.R. (2010). Organic and inorganic anions in Shiraz and Chardonnay grape berries and wine as affected by rootstock under saline conditions. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 16 (1): 227-236.

- Gosset, D.R., Millhollon, E.P., & Lucas, C. (1994). Antioksidant response to NaCl stres in salt-tolerant and salt-sensitive cultivars of cotton. *Crop Science*, 34: 706-714.
- Grimplet, J., Deluc, L.G., Cramer, G.R., & Cushman, J.C. (2007). Integrating functional genomics with salinity and water deficit stress responses in wine grape - *Vitis vinifera*. M.A. Jenks vd. (eds.), *Advances in Molecular Breeding Toward Drought and Salt Tolerant Crops*, Chapter 26: 643-668.
- Güneş, A., Çelik, H., Alparslan, M., Söylemezoğlu, G., Erarslan, F., Yaşa, Z., & Koç, Ö. (2003). Asmaların (*Vitis* spp.) bor toksitesi ve tuzluluğa karşı toleransının belirlenmesine yönelik olarak bor, sodyum ve klor alımlarının karşılaştırılması. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 9 (4): 428-434.
- Güneş, A., Söylemezoğlu, G., İnal, A., Bağcı, E.G., Çoban, S., & Şahin, O. (2006). Antioxidant and stomatal responses of grapevine (*Vitis vinifera* L.) to boron toxicity. *Scientia Horticulturae*, 110: 279-284.
- Gürel, A., & Avcıoğlu, R. (2001). Bitkilerde strese dayanıklılık fizyolojisi. *Bitki Biyoteknolojisi II*, Bölüm 21: 289-326.
- Hepaksoy, S., Ben-Asher, J., de Malach, Y., David, I., Sagih, M., & Brave, B. (2006). Grapevine irrigation with saline water: Effect of rootstocks on quality and yield of Cabernet Sauvignon. *Journal of Plant Nutrition*, 29: 783-795.
- Hollanger Czytko, H., Grabowski, J., Sandorf, I., Weckermann, K., & Weiler, E.W. (2005). Tocopherol content and activities of tyrosine aminotransferase and cystine lyase in Arabidopsis under stress conditions. *Journal of Plant Physiology*, 162, 767-770.
- Holton, T.A., & Cornish, E.C. (1995). Genetics and biochemistry of anthocyanin biosynthesis. *Plant Cell*, 7: 1017-1083.
- Iwashina, T. (2000). The Structure and distribution of the flavonoids in plants. *Journal of Plant Research*, 113: 287-299.
- Jellouli, N., Ben Jouria, H., Skouri, H., Ghorbel, A., Gourgoubri, A., & Mliki, A. (2008). Proteomic analysis of Tunisian grapevine cultivar Rzegui under salt stress. *Journal of Plant Physiology*, 165: 471-481.
- Kaçar, B., Katkat, V., & Öztürk, Ş. (2009). *Bitki Fizyolojisi*. Nobel Yayın Dağıtım. 556 sayfa.
- Kalefetoğlu, T., & Ekmekçi, Y. (2005). The Effect of drought on plants and tolerance mechanisms. *Gazi University Journal of Science*, 18 (4): 723-740.
- Kalefetoğlu, T. (2006). Nohut (*Cicer arietinum* L.) çeşit ve hatlarının kuraklık stresine karşı dayanıklılığının karakterizasyonu. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 143 sayfa, Ankara.
- Karanlık, S. (2001). Değişik buğday genotiplerinde tuz stresine dayanıklılık ve dayanıklılığın fizyolojik nedenlerinin araştırılması. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 125 s., Adana.
- Kerepesi, I., & Galiba, G. (2000). Osmotic and salt stress-induced alteration in soluble carbohydrate content in wheat seedlings. *Crop Science*, 40: 482-487.
- Koca, H. (2007). Tuz stresinin farklı susam çeşitlerinin fizyolojik ve biyokimyasal özellikleri üzerine etkisi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 132 sayfa, İzmir.
- Kök, D. (2007). Responses of *V. vinifera* spp. Sylvestris (c.c. Gmelin) ecotypes originated from two different geographical regions of turkey to salinity stress at seed germination and plantlet stages. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 10 (16): 2631-2638.
- Lichtenthaler, H.K. (1998). The stress concept in plants: An introduction, *Annals of the New York Academy of Sciences*, 851: 187-198.
- Lovisol, C., Tramontini, S., Flexas, J., & Schubert, A. (2008). Mercurial inhibition of root hydraulic conductance in *Vitis* spp. rootstocks under water stress. *Environmental and Experimental Botany*, 63: 178-182.
- Lutts, S., Kinet, J.M., & Bouharmont, J. (1996). NaCl Induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of Botany*, 78: 389-398.
- Mahajan, S., & Tuteja, N. (2005). Cold, salinity and drought stresses: An overview, *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 444: 139-158.
- Mansour, M.M.F., Salama, K.H.A., & Al-Mutawa, M.M. (2003). Transport proteins and salt tolerance in plants. *Plant Science*, 164: 891-900.
- Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59: 651-681.
- Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment*, 25: 239-250.
- Müftüoğlu, N.M., Dardeniz, A., Sungur, A., & Altay, H. (2006). Bazı sofralık üzüm çeşitlerinin tuza toleranslarının belirlenmesi. *Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20: 37-42.
- Nawar, W.W. (1996). Lipids. In "Food Chemistry", O.R. Fennema (Ed), pp: 225-319. Marcel Dekker, New York.
- Niyogi, K.K., Shih, C., Chow, W.S., Pogson, B., Dellapenna, D., & Björkman, O. (2001). Photoprotection in a zeaxanthin and lutein deficient double mutant of Arabidopsis. *Photosynthesis Research*, 67: 139-145.
- Önder, S., Kanber, R., Önder, D., & Kapur, B. (2005). Global iklim değişimlerine bağlı olarak sulama yöntem ve işletim tekniklerinde gelecekte ortaya çıkabilecek değişiklikler. 4. GAP Tarım Kongresi, Şanlıurfa, 2: 1128-1135.
- Özden, M., Demirel, U., & Kahraman, A. (2009). Effects of proline on antioxidant system in leaves of grapevine (*Vitis vinifera* L.) exposed to oxidative stress by H₂O₂. *Scientia Horticulturae*, 119: 163-168.
- Öztürk, M.A., & Seçmen, Ö. (1992). *Bitki ekolojisi*, Ege Üniversitesi Fen Fakültesi, Yayın No: 141, İzmir.
- Paranychianakis, N.V., Aggelides, S., & Angelakis, A.N. (2004). Influence of rootstock, irrigation level and recycled water on growth and yield of Sultana grapevines. *Agricultural Water Management*, 69: 13-27.
- Paranychianakis, N.V., & Angelakis, A.N. (2008). The Effect of water stress and rootstock on the development of leaf injuries in grapevines irrigated with saline water. *Agricultural Water Management*, 95: 375-382.
- Parida, A., Das, A.B., & Das, P. (2002). NaCl stress causes changes in photosynthetic pigments, proteins and other metabolic components in the leaves of a true Mangrove, *Bruguiera parviflora*, in hydroponic cultures. *Journal of Plant Physiology*, 45: 28-36.
- Patakas, A., Nikolaou, N., Zioziou, E., Radoglou, K., & Noitsakis, B. (2002). The role of organic solute and ion accumulation in osmotic adjustment in drought stressed grapevines. *Plant Science*, 163: 361-367.
- Patakas, A., Noitsakis, B., & Chouzouri, A. (2005). Optimization of irrigation water use in grapevines using the relationship between transpiration and plant water status. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 106: 253-259.

- Patakas, A., & Noitsakis, B. (2001). Leaf age effects on solute accumulation in water-stressed grapevines. *Journal of Plant Physiology*, 158: 63-69.
- Pavlousek, P. (2011). Evaluation of drought tolerance of new grapevine rootstock hybrids. *Journal of Environmental Biology*, 32: 543-549.
- Peltzer, D., Dreyer, E., & Polle, A. (2002). Temperature dependencies of antioxidative enzymes in two contrasting species. *Plant Physiology and Biochemistry*, 40: 141-150.
- Sairam, R.K., & Tyagi, A. (2004). Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. *Current Science*, 86 (3): 407-421.
- Santesteban, L.G., Miranda, C., & Royo, J.B. (2011). Regulated deficit irrigation effects on growth, yield, grape quality and individual anthocyanin composition in *Vitis vinifera* L. cv. 'Tempranillo'. *Agricultural Water Management*, 98: 1171-1179.
- Saruhan, V., Üzen, N., Eylen, M., & Çetin, Ö. (2008). Toprak tuzluluğunun kültür bitkilerine etkileri ve alınabilecek somut önlemler. Sulama Tuzlanma Konferansı, 319-328, Şanlıurfa.
- Shafiq Ur Rahman Harris, P., & Ashraf, M. (2005). Stress environment and their impact on crop production. Abiotic stress: plant resistance through breeding and molecular approaches. M. Ashraf and P. Harris. New York, Food Products pres, 3-16.
- Shai, U., & Ben Gal, A. (2005). Long term response of grapevines to salinity: Osmotic effects and ion toxicity. *American Journal of Enology and Viticulture*, 56 (2): 148-154.
- Shrivastava, P., & Kumar, R. (2015). Soil salinity: a serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. *Saudi journal of biological sciences*, 22(2): 123-131.
- Sinclair, C., & Hoffmann, A.A. (2003). Monitoring salt stress in grapevines: are measures of plant trait variability useful?. *Journal of Applied Ecology*, 40: 928-937.
- Singh, S., Anjum, N.A., Khan, N.A., & Nazar, R. (2008). Metal binding peptides and antioxidant defence system in plants: significance in cadmium tolerance. In: N.A. Khan, S. Singh (Eds). Abiotic stress and plant responses, IK International, New Delhi, 159-189.
- Sivritepe, N., & Eriş, A. (1999). Determination of salt tolerance in some grapevine cultivars (*Vitis vinifera* L.) under *in vitro* conditions. *Turkish Journal of Biology*, 23: 473-485.
- Sivritepe, N., Sivritepe, Ö., Çelik, H., & Katkat, A.V. (2010). Salinity responses of grafted grapevines: Effects of scion and rootstock genotypes. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj*, 38 (3): 193-201.
- Sivritepe, N. (1995). Asmalarda tuza dayanıklılık testleri ve tuza dayanımda etkili bazı faktörler üzerinde araştırmalar. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Ana Bilim Dalı, Doktora tezi, 167 sayfa, Bursa.
- Sivritepe, N. (2000). Asmalarda tuzdan kaynaklanan ozmotik stresin teşvik ettiği fizyolojik değişimler ve tuza dayanımdaki rolleri. *Turkish Journal of Biology*, 24: 97-104.
- Soar, C.J., Dry, P.R., & Loveys, B.R. (2006). Scion photosynthesis and leaf gas exchange in *Vitis vinifera* L. cv. Shiraz: mediation of rootstock effects via xylem sap ABA. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 12: 82-96.
- Stahl, W., Ale-Agha, N., & Polidori, M.C. (2002). Non-antioxidant properties of carotenoids. *Journal of Biological Chemistry*, 383: 553-558.
- Streb, P., & Feierabend, J. (1996). Oxidative stress responses accompanying photoinactivation of catalase in NaCl-Treated rye leaves. *Botanica Acta*, 109: 125-132.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2008). Bitki fizyolojisi (Çeviri Editörü İ. Türkan). Palma Yayıncılık, Ankara, s: 404-419, p. 547.
- Tattersall, E.A.R., Grimplet, J., DeLuc, L., Wheatley, M.D., Vincent, D., Osborne, C., Ergül, A., Lomen, E., Blank, R.R., Schlauch, K.A., Cushman, J.C., & Cramer, G.R. (2007). Transcript abundance profiles reveal larger and more complex responses of grapevine to chilling compared to osmotic and salinity stress. *Functional and Integrative Genomics*, 7: 317-333.
- Tester, M., & Davenport, R.J. (2003). Na⁺ transport and Na⁺ tolerance in higher plants. *Ann Bot (Lond)* 91: 503-527.
- Tezara, W., Mitchell, V.J., Driscoll, S.D., & Lawlor, D.W. (1999). Water stress inhibits plant photosynthesis by decreasing coupling factor and ATP. *Nature*, 401: 914-917.
- Tipi, T., Vural, H., Turhan, Ş., & Erdal, B. (2017). Türkiye'de Sulama Yatırımlarının Tarım Alanlarının Kullanım Şekillerine Etkisinin Belirlenmesi. *Turkish Journal of Agricultural Economics*, 23(2): 157-163.
- Toumi, I., Gargouri, M., Nouairi, I., Moschou, P.N., Ben Salem-Fnayou, A., Mliki, A., Zarrouk, M., & Ghorbel, A. (2008). Water stress induced changes in leaf lipid composition of four grapevine genotypes with different drought tolerance. *Biologia Plantarum*, 52: 161-164.
- Trebst, A., Depka, B., & Holländer-Czytko, H.A. (2002). Specific role for tocopherol and of chemical singlet oxygen quenchers in the maintenance of photosystem II structure and function in *Chlamydomonas reinhardtii*. *FEBS Letters*, 43: 2157-2162.
- Trouverie, J., Thevenot, C., Rocher, J.P., Sotta, B., & Prioul, J.L. (2003). The role of abscisic acid in the response of a specific vacuolar invertase to water stress in adult maize leaf. *Journal of Experimental Botany*, 54: 2177-2186.
- UNCCD (1995). The United nations convention to combat desertification in those countries experiencing serious drought and/or desertification, particularly in Africa, Text with Annexes, United Nations Environment Programme (UNEP), Geneva.
- Upreti, K.K., & Murti, G.S.R. (2010). Response of grape rootstocks to salinity: changes in root growth, polyamines and abscisic acid. *Biologia Plantarum*, 54 (4): 730-734.
- Van Leeuwen, C., Friant, P., Choné, X., Tregoat, O., Koundouras, S., & Dubourdieu, D. (2004). Influence of climate, soil, and cultivar on terroir. *American Journal of Enology and Viticulture*, 55: 207-217.
- Vandeleur, R.K., Mayo, G., Sheldeni, M.C., Gillihami, M., Kaiserli, B.N., & Tyerman, S.D. (2008). The role of PIP aquaporins in water transport through roots: diurnal and drought stress responses reveal different strategies between isohydric and anisohydric cultivars of grapevine. *Plant Physiology*, 149: 445-460.
- Villora, G., Pulgar, G., Moreno, D.A., & Romero, L. (1997). Salinity treatments and their effect on nutrient concentration in Zucchini plants (*Cucurbit pepo* L. var. *Moschata*). *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 37: 605-608.
- Vincent, D., Ergül, A., Bohlman, M.C., Tattersall, E.A.R., & Tillett, R.L. (2007). Proteomic analysis reveals differences between *Vitis Vinifera* L. cv. Chardonnay and cv. Cabernet Sauvignon and their responses to water deficit and salinity. *Experimental Botany*, 58 (7): 1873-1892.
- Walker, R.R., Blackmore, D.H., Clingeleffer, P.R., & Correll, R.L. (2002). Rootstock effects of salt tolerance of irrigated

- field-grown grapevines (*Vitis vinifera* L. cv. Sultana) I. Yield and vigour inter-relationships. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 8: 3-14.
- Walker, R.R., Blackmore, D.H., Clingeleffer, P.R., & Correll, R.L. (2004). Rootstock effects on salt tolerance of irrigated field-grown grapevines (*Vitis vinifera* L. cv. Sultana) 2. Ion concentrations in leaves and juice. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 10: 90-99.
- Walker, R.R., Blackmore, D.H., & Clingeleffer, P.R. (2010). Impact of rootstock on yield and ion concentrations in petioles, juice and wine of Shiraz and Chardonnay in different viticultural environments with different irrigation water salinity. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 16: 243-258.
- Wang, J., Zhang, H., & Allen, R.D. (1999). Overexpression of an Arabidopsis peroxisomal APX gene in tobacco increases protection against oxidative stress, *Plant Cell Physiology*, 40: 725-732.
- Wang, W., Vinocur, B., & Altman, A. (2003). Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta*, 218: 1-14.
- Yaşar, F., Ellialtıoğlu, Ş., Özpaya, T., & Uzal, Ö. (2008). Tuz Stresinin karpuzda (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Mansf.) antioksidatif enzim(SOD, CAT, APX ve GR) aktivitesi üzerine etkisi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Bilimleri Dergisi, 18 (1): 51-55.
- Yıldız, M., Terzi, H., Cenkci, S., Arıkan, Terzi, E.S., & Uruşak, B. (2010). Bitkilerde Tuzluluğa Toleransın Fizyolojik ve Biyokimyasal Markörleri. Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, Yaşam Bilimleri ve Biyoteknoloji, 1 (1): 1-33.
- Yokota, A., Takahara, K., & Akashi, K. (2006). Water stress. In: Madhava Rao KV, Raghavendra AS, Janardhan Reddy K (eds) *Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants*. Springer, The Netherlands, p 15-39.
- Zhu, J.K. (2001). Plant salt tolerance. *Trends Plant Science*, 6: 66-71.



Bataryalı PV Sistemlerde Maksimum Güç Noktası Takip Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Nihan Altıntaş^{1*}, Ahmet Yılmaz², Alparslan Demirci³, Said Mirza Tercan⁴

^{1*} Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6567-7675), naltin@yildiz.edu.tr

² Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9359-6434), ahmetylmz23yilmaz@gmail.com

³ Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1038-7224), ademirci@yildiz.edu.tr

⁴ Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1663-713X), stercan@yildiz.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 11 Mart 2020 ve Kabul Tarihi 25 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.702393)

ATIF/REFERENCE: Altıntaş, N., Yılmaz, A., Demirci, A. ve Tercan, S.M. (2021). Bataryalı PV Sistemlerde Maksimum Güç Noktası Takip Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 369-377.

Öz

Son yıllarda alternatif enerji sistemlerine olan ilginin artmasına paralel olarak güneş enerjisi sistemlerinin kullanımı da artmaktadır. Genellikle evlerin çatılarına kurulan küçük güçlü bu sistemler PV (Photovoltaic, Fotovoltaik) panellerden oluşur. PV sistemlerde üretilen enerji, güneş ışınlarının açısı, hava sıcaklığı, rüzgâr gibi birçok parametreye bağlıdır. Bu nedenle PV sistemlerin akım-gerilim karakteristikleri doğrusal olmayıp verimleri belirtilen bu parametrelere bağlı olarak değişir. PV panellerinden maksimum verim elde edebilmek için maksimum güç noktası takip (MGNT) yöntemlerinin kullanılması zorunlu hale gelmiştir. Bu çalışmada literatürde en çok kullanılan gradient tabanlı yöntemler arasından değiştir&gözle (DG) ve artımlı iletkenlik (Aİ) yöntemleri, pasif yöntemler arasından ise sabit gerilim (SG) ve açık devre gerilimi (ADG) yöntemleri seçilmiş ve detaylı olarak incelemiştir. Modellemeler ve simülasyonlar MATLAB® Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir. MGNT yöntemlerinin performanslarını karşılaştırmak için Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Yerleşkesinde yapılan ölçümler ile elde edilmiş değişken ışımaya değerleri kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Maksimum güç noktası takibi, değiştir&gözle, artımlı iletkenlik, sabit gerilim, açık devre gerilimi.

Comparison of Maximum Power Point Tracking Methods in Battery PV Systems

Abstract

In recent years, using of solar energy systems has been increasing in parallel with the growing interest in alternative energy systems. These systems, usually installed on the roofs of the houses, consist of solar Photovoltaic (PV) panels. The energy produced in PV systems varies depending on many parameters such as angle of sun rays, temperature and wind. Therefore, the current-voltage characteristic of PV systems is not linear and their efficiency varies depending on each parameters. It is necessary to use maximum power point tracking (MPPT) methods to obtain maximum efficiency. In this study, the most commonly used in the literature as gradient based MPPT methods which are perturb&observe (PO) and incremental conductance (IC), as passive methods which are constant voltage (CV) and open circuit voltage (OCV) are selected and detailly examined. Modelling and simulations were realized in MATLAB® Simulink environment. Variable irradiance values obtained in Yıldız Teknik University Davutpaşa Campus were used to compare performances of MPPT methods.

Keywords: Maximum power point tracking, perturb&observe, incremental conductance, constant voltage, open circuit voltage.

* Sorumlu Yazar: naltin@yildiz.edu.tr

1. Giriş

Son yıllarda yenilenebilir enerji sistemleri, içinde yaşadığımız evrenin yaşanılabilir kalması için ortaya çıkmış çevreci bir alternatiftir. Kurulum maliyetlerinin uygun ve entegrasyonunun kolay olmasıyla güneş enerjisine ilgi hızla artmaktadır. Fosil yakıtların azalması ve çevre sorunlarının giderek artması sebebiyle yenilenebilir enerji sistemlerine yönelişin giderek artacağı öngörülmektedir. Bununla birlikte günümüzde güneş enerjisi ile üretilen enerjinin hala dünyanın enerji üretiminde küçük bir paya sahip olduğu görülmektedir.

Güneş enerjisi dönüşüm sistemleri şebekeye entegreli veya şebekeden bağımsız olarak gerçekleştirilebilmektedir [1]. Her iki sistemde de panellerin toplam gücü arttıkça panellerin maksimum güç noktasında çalışmasının önemi artar. Çünkü PV sistemler doğrusal olmayan elektriksel özelliklere sahiptir. Sıcaklık, rüzgâr, ışımaya gibi atmosferik hava olaylarına bağlı olarak panellerin akım ve gerilimleri değişiklik gösterir. MGNT kontrol algoritmaları, PV panellerin akım ve gerilimlerini takip ederek panellerin çıkış gücünün maksimum olmasını sağlamak üzere dönüştürücünün darbe genişlik modülasyonu (PWM) oranını düzenler [2].

Güneş enerjisini daha verimli kullanabilmek için birçok MGNT algoritması ve yöntemi geliştirilmiştir [3]–[10]. MGNT yöntemleri kontrol stratejisine ve kullanılan sensör sayısına göre iki başlık altında sınıflandırılır. Kontrol stratejisine göre; gradient tabanlı, pasif (dolaylı) ve tahminsel MGNT yöntemleri mevcuttur. Kullanılan sensör sayısına göre; tek sensörlü ve iki sensörlü MGNT yöntemleri bulunmaktadır [11]. Tablo 1’de literatürdeki MGNT yöntemleri ile ilgili çalışmaların detaylı bir özeti verilmiştir. Bu tabloda MGNT yöntemleri, sıcaklık ve

ışımaya değerleri, deneysel veri kullanılıp kullanılmadığı, karmaşıklık, kullanılan sensör (akım, gerilim) sayısı, maliyet, verim ile fiyat/performans gibi özellikler açısından incelenmiştir.

Sonuç olarak literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, deneysel verilerin kullanıldığı, üretim karmaşıklığı az olan, minimum sayıda sensör kullanılan, maliyetin düşük olduğu ve yüksek sistem verimine sahip MNGT yöntemleri öne çıkmaktadır. Bu çalışmada İstanbul ili Esenler ilçesine ait gerçek ışımaya verileri kullanılarak, öne çıkan aktif ve pasif MGNT yöntemlerinden değiştirilme (DG), artımlı iletkenlik (Aİ), sabit gerilim (SG) ve açık devre gerilimi (ADG) yöntemlerinin performansları karşılaştırılmıştır. PV panel çıkışına bağlanan düşürücü DC-DC dönüştürücü devresi ile çıkış gerilimi sabit tutulmuştur. Dönüştürücü çıkışında bulunan batarya sabit gerilim altında şarj edilmiştir.

Bu çalışmada özetle, Bölüm 2’de PV sistemlerin çalışma prensibi ile temel özellikleri ve MGNT’nin önemi açıklanmıştır. Bölüm 3’te MGNT yöntemlerini aynı şartlar altında karşılaştırmak amacı ile 12 V’luk bataryayı şarj edebilen DC-DC düşürücü dönüştürücünün tasarımı yapılmıştır. Bölüm 4’te, PV sistemlerde kullanılan dört adet MGNT Yöntemi incelenmiştir. Bölüm 5’te, MGNT Yöntemleri sabit 25°C sıcaklıktaki değişken ışımaya değeri için MATLAB® Simulink programı kullanılarak modellenmiş ve yöntemler aynı şartlar altında karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, bu çalışmada PV sistemlerde en çok kullanılan gradient tabanlı ve pasif MGNT yöntemlerinin sabit sıcaklık ve değişken ışımaya değeri için simülasyonları yapılmış ve teorik olarak hesaplanan maksimum güce yaklaşıma performansları karşılaştırılmıştır.

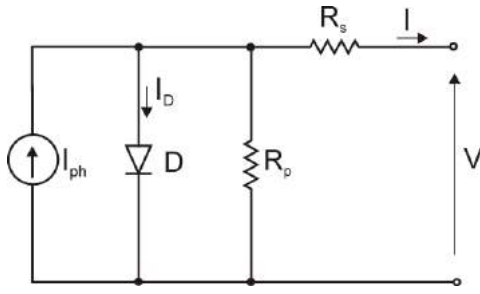
Tablo 1. MGNT yöntemleri

REF.	MGNT yöntemi	Sıcaklık	Işımaya	Deneysel veri kullanımı	Üretim karmaşıklığı	Kullanılan Sensör	Maliyet	Verim (%)
[3]	Yeni yöntem	Dikkate alınmamış	Değişken	Evet	Orta	V	Ucuz	92.00
[4]	DG	Değişken	Değişken	Hayır	Orta	V, I	-	-
[5]	DG Fuzzy	Sabit	Değişken	Hayır	Orta Çok	V, I V, I	-	-
[6]	DG Aİ Fuzzy	Dikkate alınmamış	Değişken	Hayır	Orta Orta Çok	V, I V, I V, I	-	-
[7]	SG ADG DG Mod. DG Aİ Fuzzy YSA	Dikkate alınmamış	Dikkate alınmamış	Hayır	Az Az Orta Çok Orta Çok Çok	V I V, I V, I V, I V ya da I	Ucuz Ucuz Pahalı Pahalı Pahalı Pahalı	-
[9]	SG DG Aİ	Değişken	Değişken	Evet	Az Orta Orta	V V, I V, I	Ucuz Pahalı Pahalı	91.88 91.42 93.83
[12]	Aİ	Değişken	Değişken	Evet	Orta	V, I	Pahalı	96.60

2. Fotovoltaik Sistemler

Güneşten gelen fotonları elektrik enerjisine dönüştürmek için PV paneller tasarlanmıştır. PV panellerin çalışma prensibi p-n ekleminden oluşan diyotların çalışma prensibine benzer. Güneş ışınlarından gelen fotonlar sayesinde N tipi bölgede bulunan fazla elektronlar, elektron eksikliği bulunan P tipi bölgeye doğru hareket ederler ve bunun sonucunda bir elektrik akımı oluşur. Güneş enerjisi bu sayede doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülür. PV paneller birçok seri veya paralel hücrenin yan yana gelmesiyle oluşturulur.

Şekil 1’de PV hücrenin elektriksel modeli verilmiştir. PV hücresi, ideal bir akım kaynağı ile paralel diyottan oluşur ve PV hücrenin maruz kaldığı güneş ışınımına orantılı bir akım sağlar. Elektriksel modelde V çıkış gerilimi, I_{ph} foton akımı sabit bir kaynak olarak gösterilmektedir. Devre seri bağlı bir direnç (R_s), paralel bağlı bir direnç (R_p) ve bir diyottan (D) oluşmaktadır. PV panelin elektriksel eşdeğer modeli I çıkış akımına bağlıdır.



Şekil 1. PV hücrenin elektriksel modeli [8]

Bir PV hücreni tanımlarken kısa devre akımı I_{kd} ve açık devre gerilimi V_{ad} parametreleri hayati önem taşır. Kısa devre durumunda diyot gerilimi $V_d=0$ olur. Bu durum, ideal akım kaynağındaki tüm akımın kısa devre terminallerinden geçtiği anlamına gelir. I çıkış akımı;

$$I = I_{kd} - I_D \quad (1)$$

I_D diyot akımı aşağıdaki gibi bulunur.

$$I_D = I_s \times \left(e^{\frac{qV \times d}{k \times T}} - 1 \right) \quad (2)$$

Burada; I_s ters doyum akımını, V_d diyot gerilimini ve T ise jonksiyon sıcaklığını göstermektedir. q elektron şarj sabiti ve k Boltzmann sabiti katsayıları $1.6 \times 10^{-19}C$ ve $1.38 \times 10^{-23}J/K$ olarak alınmıştır. Sabit bir T sıcaklığındaki I_s ters doyum akımı aşağıdaki formülden bulunur.

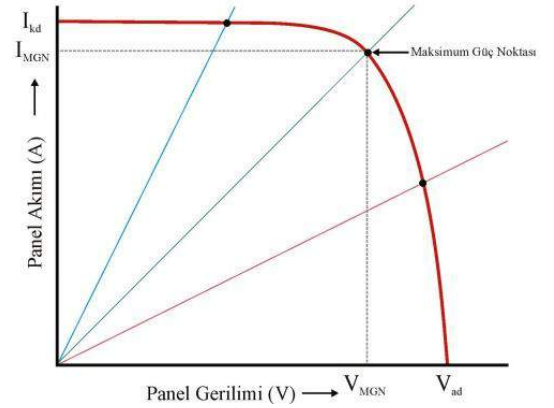
$$I_s = \frac{I_{kd}}{e^{\frac{qV \times d}{k \times T}} - 1} \quad (3)$$

I_D diyot akımı, (1) numaralı denklemde yerine konursa PV hücrenin akım gerilim arasındaki bağlantıyı verir.

$$I = I_{kd} - I_s \times \left(e^{\frac{q \times (V + I \times R_s)}{k \times T}} - 1 \right) - \frac{V + I \times R_s}{R_p} \quad (4)$$

Şekil 2’de PV hücrenin gerilim akım karakteristiği görülmektedir. Maksimum Güç Noktasında (MGN), panel akımı (I_{MGN}) ve panel gerilimi (V_{MGN}) maksimumdur. PV hücrenin maksimum güç çıkışı $P_{max} = I_{MGN} \times V_{MGN}$ şeklindedir. Bu çalışmada kullanılacak PV panelin elektriksel özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

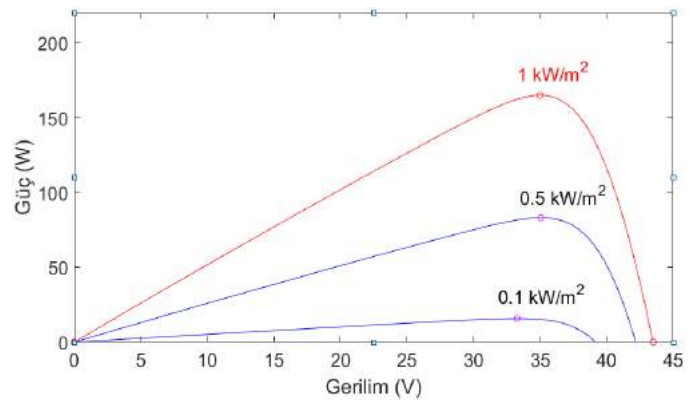
Şekil 3’de, seçilen panelin $25^\circ C$ ’deki $1000 W/m^2$, $500 W/m^2$ ve $100 W/m^2$ için ışıma değerlerine ait gerilim güç karakteristiği verilmiştir. Şekil 4’te sabit $1000 W/m^2$ için değişken sıcaklıklarda panelin vermesi beklenen gerilim-güç değerleri verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi sıcaklık değişiminin güce etkisi ihmal edilebilecek kadar azdır.



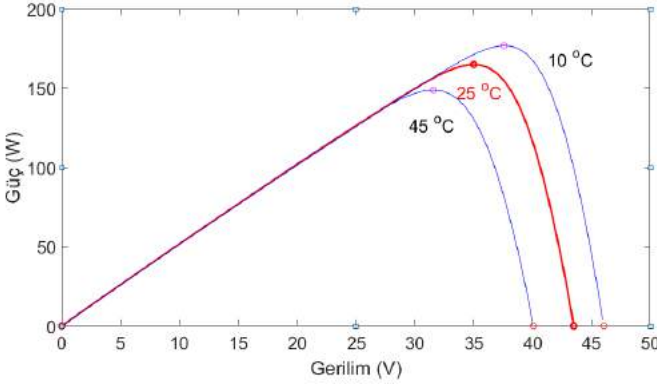
Şekil 2. PV hücrenin gerilim akım karakteristiği

Tablo 2. Aavid Solar Panel (ASMS-165P)

Maksimum Güç	$P_{max} = 164.85W$
Açık Devre Gerilimi	$V_{ad} = 43.5 V$
Kısa Devre Akımı	$I_{kd} = 5.25 A$
MGN Gerilimi	$V_{MGN} = 35 V$
MGN Akımı	$I_{MGN} = 4.71 A$



Şekil 3. Farklı ışıma değerleri için gerilim-güç grafiği

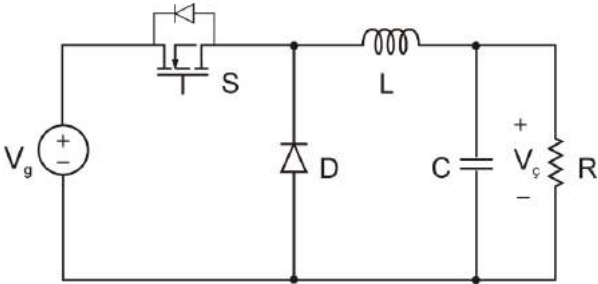


Şekil 4. Farklı sıcaklık değerleri için gerilim-güç grafiği

3. DC-DC Dönüştürücünün Tasarımı

Bu çalışmada kullanılacak PV panelin verebileceği maksimum güç çıkışı yaklaşık olarak 164.85W ve maksimum gerilim değeri de 35V'dur. Batarya şarjı için PV gerilimi 12V seviyesine DC-DC dönüştürücü ile düşürülecektir. Dönüştürücünün çıkış akımındaki dalgalanma en fazla 1A ve çıkış gerilimindeki dalgalanma ise en fazla 0.4V olacak şekilde devre tasarlanacaktır. Ayrıca eleman boyutlarının küçük olması için dönüştürücünün anahtarlama frekansı 20 kHz seçilmiştir.

Düşürücü DC-DC dönüştürücü devre şeması Şekil 5'de verilmiştir. Düşürücü türdeki DC-DC dönüştürücüler giriş geriliminin altında bir çıkış gerilimi elde etmek için kullanılır. Bu devrede S anahtarlama elemanı olarak MOSFET kullanılmıştır. Çıkış gerilimini filtrelemek için yüke paralel C çıkış kondansatörü, çıkış akımını filtrelemek için de yüke seri bağlı L çıkış endüktansı kullanılmıştır. Burada anahtarlama elemanı iletimde iken V_g giriş gerilimi hem L endüktansını hem de R yükünü besler. S anahtarlama elemanı kesimde iken L endüktansında depo edilen enerji R yükünü beslemeye devam eder [13].



Şekil 5. Düşürücü DC-DC dönüştürücü genel devre şeması [13]

Simülasyonları gerçekleştirmek üzere devrede kullanılması gereken kondansatör ve endüktans değerleri aşağıdaki gibi hesaplanır. Bu hesaplamalarda devredeki elemanlar ideal kabul edilerek, devre kayıpları ihmal edilmiştir.

Düşürücü DC-DC dönüştürücülerin giriş ve çıkış gerilimleri arasında bağlı iletim süresine (λ) bağlı ifade aşağıda verilmiştir.

$$V_g = \lambda \times V_g \quad (5)$$

Giriş ve çıkış gerilimleri yerine konulduğunda bağlı iletim süresi 0.42 olarak hesaplanır. Çıkış kondansatörü (C); çıkış akımındaki dalgalanma miktarı (ΔI_c), anahtarlama frekansı (f) ve çıkış gerilimindeki dalgalanma miktarı (ΔV_c)'ye bağlı olarak aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$C = \frac{\Delta I_c}{8 \times f \times \Delta V_c} \quad (6)$$

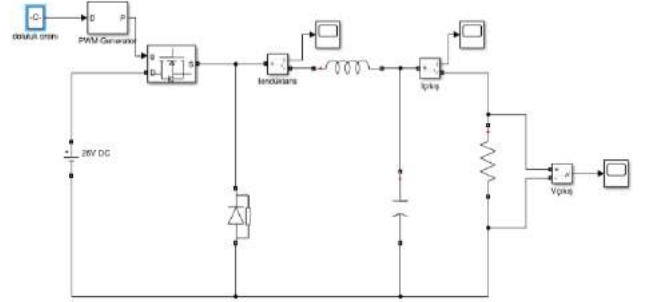
(6) nolu ifadeye değerler yerine konduğu takdirde kondansatör değeri 15.62 μ F olarak bulunur.

Endüktans değeri (L); bağlı iletim süresi (λ), giriş gerilimi (V_g), anahtarlama frekansı (f) ve çıkış akımındaki dalgalanma miktarına (ΔI_c)'ye bağlı olarak aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$L = \lambda \times (1 - \lambda) \times \frac{V_g}{f \times \Delta I_c} \quad (7)$$

(7) nolu ifadeye değerler yerine konduğu takdirde endüktans değeri 426.3 μ H olarak bulunur. Simülasyon devresinde çıkış gerilim ve akımındaki dalgalanmaların daha az olması için L ve C değerleri sırasıyla 0.5mH ve 100 μ F olarak seçilmiştir.

Şekil 6'da, hesaplanan devre parametrelerine göre MATLAB simulink ortamında gerçekleştirilen devre şeması verilmiştir. Bu çalışmada incelenen MGNT yöntemleri aynı şartlar altında Şekil 6'daki devre kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6. MATLAB simulinkte gerçekleştirilen devre

4. Fotovoltaik Sistemlerde Maksimum Güç Noktası Takip Yöntemleri

4.1. Değiştir&Gözle Yöntemi

DG yönteminde PV gerilimi ve akımı, akım ve gerilim sensörleri kullanılarak ölçülür ve elde edilen güç P_{k-1} hesaplanır. Ardından gerilimde ΔV kadarlık bir fark tanımlanır ve bu yeni durum için P_k hesaplanır. Eğer P_{k-1} , P_k 'den büyük ise maksimum noktaya yaklaşılmaktadır. Aynı yönde gerilim arttırılmaya devam edilir. P_k , P_{k-1} 'den büyük ise elde edilen güç maksimum güç noktasından uzaklaşmaktadır ve gerilimin düşürülmesi gerekir [14]. Şekil 7'deki DG algoritmasının akış diyagramının MATLAB simulinkte kurulan modeli Şekil 8'de verilmiştir. Bu modelde ilk olarak V_{pv} (panel gerilimi) ve I_{pv} (panel akımı) ölçülmektedir. Daha sonra $P=I.V$ formülünden güncel güç (P_k) hesaplanmakta ve akabinde P_k ile P_{k-1} farkı incelenmektedir. Eğer P_k , P_{k-1} değerine eşit ise kontrol döngüsü başa döner. Eğer P_k , P_{k-1} değerinden büyük veya küçük ise bu defa panelin gerilim değişimine bakılır. P_k , P_{k-1} 'den büyük ise ve V_k , V_{k-1} değerinden büyük ise doluluk oranı arttırılır. Eğer V_k , V_{k-1} değerinden küçük ise doluluk oranı azaltılır. Diğer taraftan P_k , P_{k-1} 'den küçük ise

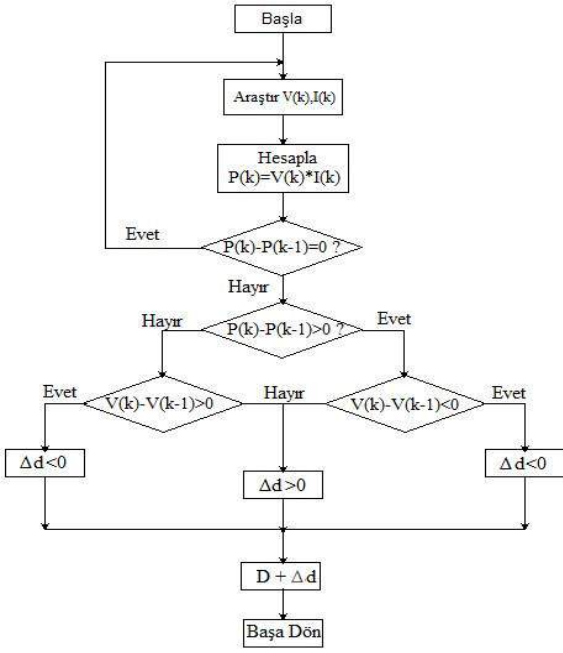
ve V_k, V_{k-1} değerinden büyük ise doluluk oranı azaltılır. Eğer V_k, V_{k-1} değerinden küçük ise doluluk oranı artırılır.

$$\frac{\Delta I_{pv}}{\Delta V_{pv}} + \frac{I_{pv}}{V_{pv}} < 0 \quad (9)$$

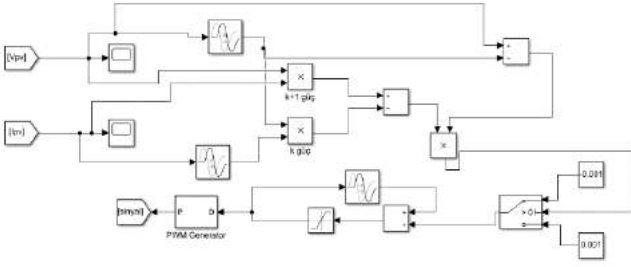
olmalıdır. PV panel maksimum güç noktasının solunda çalışıyor ise;

$$\frac{\Delta I_{pv}}{\Delta V_{pv}} + \frac{I_{pv}}{V_{pv}} > 0 \quad (10)$$

olmalıdır. Şekil 9'da AI Yönteminin çalışmasını yukarıdaki eşitliklerle beraber açıklayan güç gerilim eğrisi verilmiştir. AI yönteminin algoritması Şekil 10'da verilmiştir. Şekil 10'daki algoritmanın MATLAB simülik ortamında kurulan modeli Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 7. DG yönteminin algoritması [15]



Şekil 8. DG algoritmasının MATLAB simülik modeli

4.2. Artımlı İletkenlik Yöntemi

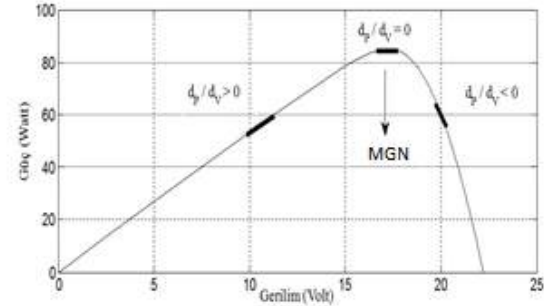
AI yöntemi değişken atmosfer koşullarında bile hızlı adaptasyon ve doğruluk gösterdiğinden dolayı yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde temel olarak direk güçteki değişimler kullanılır. PV panelin iletkenliği ($C = \frac{I}{V}$), sensörler yardımıyla çıkış akımı ve çıkış gerilimi ölçüldükten sonra hesaplanır. Daha sonra PV panelin iletkenliğindeki değişim ($\Delta C = \Delta I_p / \Delta V_p$) hesaplanır [12].

Şekil 9'da görüldüğü gibi PV panelin maksimum güç noktasındaki eğimi sıfırdır. Eğim MGN'nın sağında negatif, solunda ise pozitifdir [16]. Maksimum güç noktasında aşağıdaki denklemin sağlanması gerekir.

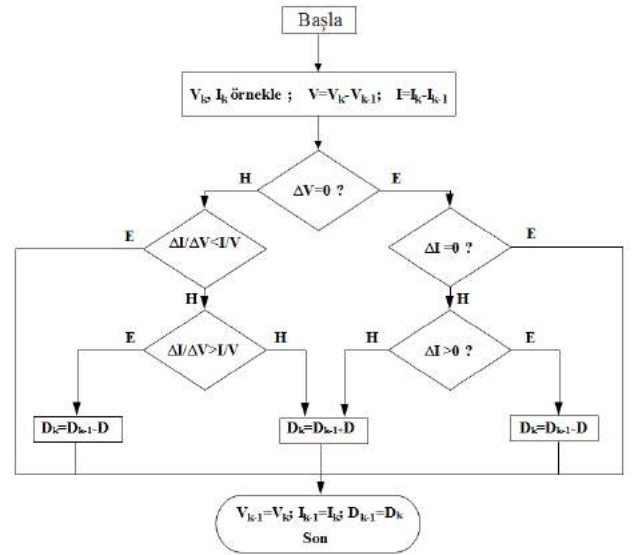
$$\frac{\Delta I_{pv}}{\Delta V_{pv}} + \frac{I_{pv}}{V_{pv}} = 0 \quad (8)$$

Yukarıdaki denklemin sağlanamaması durumunda aşağıdaki eşitlikler yazılır.

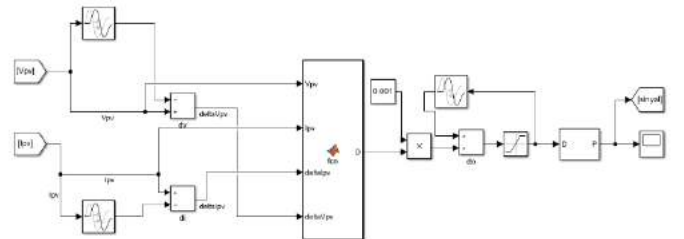
PV panel maksimum güç noktasının sağında çalışıyor ise;



Şekil 9. AI güç-gerilim eğrisi



Şekil 10. AI yönteminin algoritması [17]



Şekil 11. AI algoritmasının MATLAB simülik modeli

4.3. Sabit Gerilim Yöntemi

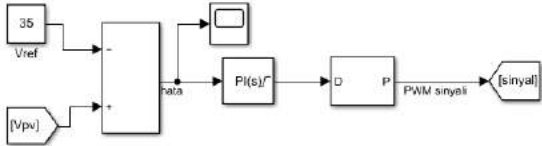
SG yöntemi maksimum güç noktasındaki gerilim ile açık devre gerilimi arasındaki oranın yaklaşık sabit olduğu esasına dayanmaktadır. Bu yöntem, tek sensör kullanması ve algoritmanın sadeliği nedeniyle MGNT yöntemleri arasında en basit olanıdır. Güneş paneli geçici olarak açık devre edilerek, açık devre gerilimi ölçülür. Bu yöntemde MGN gerilimi referans alınıp bir PI kontrolcü ile PV sistemi sürekli ve efektif bir şekilde maksimum güç noktasında tutulur [18].

Bu çalışmada PI kontrolörün değişkenleri olan K_p ve K_i değerleri Chien–Hrones–Reswick (CHR) metodu [19] kullanılarak belirlenmiştir. CHR yöntemi Ziegler-Nichols metodunun uyarlanmış halidir. CHR metodu PID parametrelerini ayarlamak için endüstride sıkça kullanılır. CHR tekniğinde PID parametrelerini belirlemek için zaman sabiti (T), gecikme zamanı (L) ve sabit bir çarpan (k) vardır [20]. Burada parametreleri ayarlamak için $a=k*L/T$ kullanılmaktadır. CHR tekniğinde gecikme zamanı kullanılarak hedef aşımının %0 ve %20 olması durumu için gerekli değerler Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. CHR tekniğinde kullanılan K_p , K_i ve K_d değerleri

Hedef aşımı	0%			20%		
Kontrolör	K_p	K_i	K_d	K_p	K_i	K_d
PID	0.95/a	2.4L	0.42L	1.2/a	2L	0.42L
PI	0.6/a	4L	-	0.7/a	2.3L	-
P	0.3/a	-	-	0.7/a	-	-

Tablo 3 kullanılarak elde edilen K_p değeri 1.4 ve K_i değeri ise 0.006 olmuştur. Şekil 12'de SG yöntemi için hazırlanan PI kontrolör görünmektedir.



Şekil 12. SG yöntemi PI kontrolörü

Ayrıca, PI kontrolörü panel uçlarındaki açık devre gerilimi ve referans gerilimi arasındaki hata sinyalini düzenleyerek DC-DC dönüştürücünün λ bağıl iletim süresini belirlemek için kullanılır.

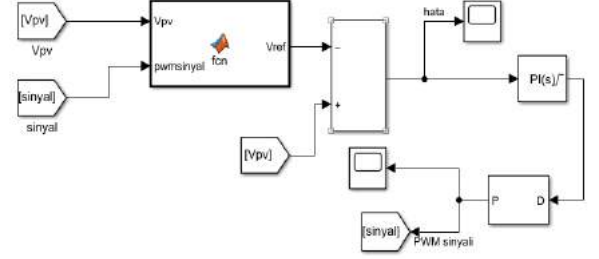
4.4. Açık Devre Gerilimi Yöntemi

PV panellerin açık devre gerilimi V_{ad} ile maksimum güç noktası gerilimi V_{MGN} arasında (11) nolu denklemde görüldüğü gibi doğrusal bir ilişki vardır.

$$V_{MGN}=k.V_{ad} \quad (11)$$

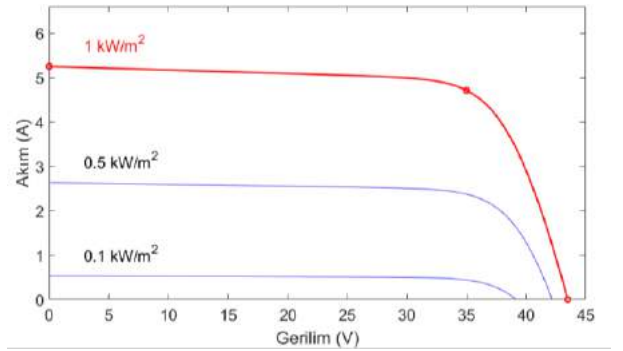
Burada k birden küçük bir katsayıdır ve genellikle 0.7 ile 0.9 arasında bir değer almaktadır. Bu çalışmada kullanılan ve Tablo 2'de elektriksel özellikleri verilen PV panel için k değeri 0.805 olarak hesaplanmıştır. Şekil 13'de ADG yöntemini incelemek için oluşturulan MATLAB simulink modeli görülmektedir. SG metodunda hesaplanan PI katsayıları ADG yönteminde de kullanılmıştır.

ADG yöntemi SG yöntemine benzemektedir. SG yönteminin gelişmiş versiyonudur. SG yönteminde olduğu gibi bu yöntemde de amaç PV panelin çıkış gerilimini bir PI kontrolör vasıtasıyla referans alınan gerilim değerinde tutmaktır. ADG tekniğinin SG tekniğinden farkı ise referans gerilim değerinin sürekli olarak güncellenmesidir [21].



Şekil 13. ADG yöntemi için oluşturulan MATLAB simulink modeli

Şekil 14'te simülasyonda kullanılan panelin farklı ışımaya değerleri için gerilim akım karakteristikleri verilmiştir. Şekil 14 ve Şekil 3'den görüldüğü üzere, ışınım değeri 500 W/m^2 'nin altına düştüğünde maksimum güç noktasının gerilim değeri değişmektedir. Bu sebeple ADG tekniği, MGN gerilimi değiştiği noktadan itibaren SG tekniğine göre daha iyi sonuç verir.

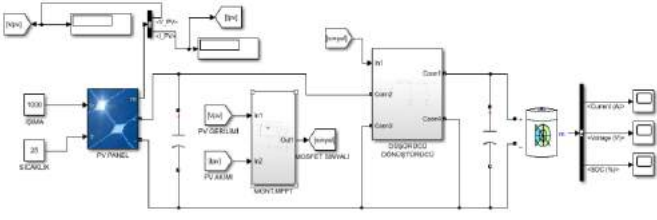


Şekil 14. Farklı ışımaya değerleri için gerilim akım karakteristiği

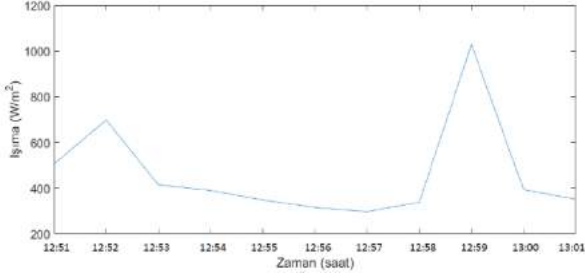
5. MGNT Yöntemlerinin Karşılaştırılması

5.1. Simülasyon Çalışması

Şekil 15'de simülasyon devresinin genel devre şeması görülmektedir. Simülasyon devresinde sırasıyla DG, Aİ, SG ve ADG yöntemleri kullanılarak çalıştırılmıştır. PV panelin girişine gerçek ölçülen sabit sıcaklık ve değişken ışımaya değeri girilmiştir. PV panelin çıkışından alınan gerilim ve akım değerleri MGNT bloğuna girer. Burda seçtiğimiz MNGT yönteminin algoritması uygulandıktan sonra çıkışta oluşan kontrol sinyali DC-DC dönüştürücünün anahtarlama elemanına uygulanmıştır. PV panel çıkışına bağlanan düşürücü dönüştürücü PV gerilimini batarya şarj gerilimine düşürerek, bataryayı sabit gerilimde şarj eder. Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Yerleşkesinde 19 Eylül 2019 tarihinde yapılan 762 dakika süren ışımaya ölçümlerinin ortalaması 468 W/m^2 olarak hesaplanmıştır. Şekil 16'da gerçek ışımaya değerlerinin ortalaması ile aynı ortalamaya sahip olan saat 12:51 ile 13:01 saatleri arasındaki veriler alınmıştır. Ayrıca, verilen grafik çok aşamalı olduğundan MGNT tekniklerinin analizi yapılırken gerçeğe daha yakın sonuçlar alınabilecektir.



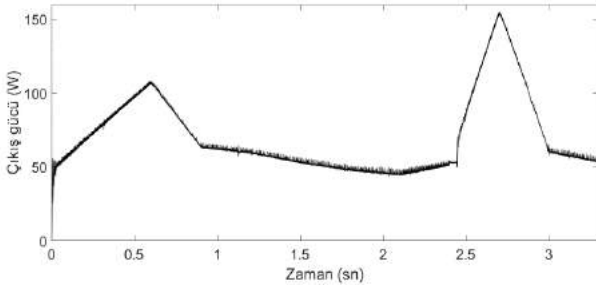
Şekil 15. Simülasyonun devre şeması



Şekil 16. Simülasyonda kullanılan ışıma

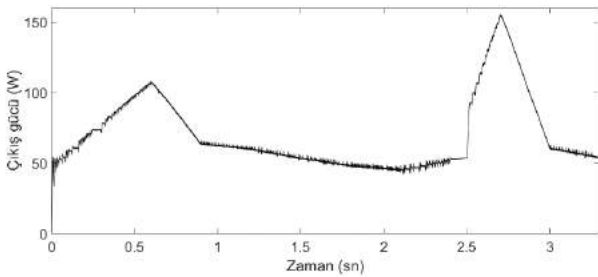
5.2. Simülasyon Sonuçları

Simülasyonlar, Şekil 16'da verilen ışıma verisine göre 25°C sabit sıcaklık değerinde, 3.3 sn. çalıştırılarak 1000 örnekleme alınarak yapılmıştır. Ayrıca Şekil 3'den görüleceği üzere ortalama 468 W/m² ışıma değeri için panelden alınabilecek maksimum çıkış gücü yaklaşık olarak 75.83 W'tır.



Şekil 17. DG çıkış gücü

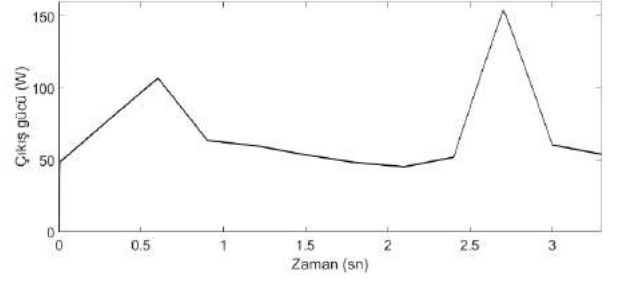
Şekil 17'de, DG tekniğine ait çıkış gücünün değişimi verilmiştir. Burada ortalama çıkış gücü 72.49 W olarak ölçülmüştür. Grafik incelendiğinde ilk olarak göze çarpan çıkış gücündeki küçük dalgalanmalardır. Bu dalgalanmalar, Şekil 10'daki algoritmaya dikkat edilirse DG tekniğinde güç değerine bağlı olarak düşürücü DC-DC dönüştürücünün λ doluluk oranının lineer olarak azaltılıp artırılmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 18. Aİ çıkış gücü

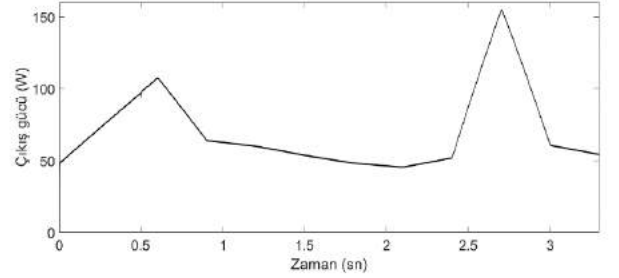
Şekil 18'de ışımanın sürekli değişmesine bağlı olarak Aİ yönteme ait çıkış gücünün değişimi verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre yüke aktarılan güç 72.5 W olarak ölçülmüştür.

Burada aynı DG tekniğinde olduğu gibi küçük salınımlar mevcuttur. Bunun sebebi ise yine DG tekniğinde olduğu gibi λ doluluk oranının doğrusal olarak artırılıp azaltılmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 19. SG çıkış gücü

Şekil 19'da değişken ışıma değeri altında SG tekniğinden yüke aktarılan gücün zaman ile değişimi görülmektedir. Verilen grafikte ortalama çıkış gücü 68.97 W olarak ölçülmüştür. Burada çıkış gücünün grafiği daha az salınımlı olmasına rağmen ortalama çıkış gücü, DG ve Aİ yöntemlerine kıyasla daha düşük çıkmıştır. Denklem 11'den görüleceği gibi, PI kontrolör sabit bir gerilim noktasını takip etmektedir. Şekil 3' incelendiğinde ışıma değeri değiştiğinde MGN gerilim noktasında yer değiştirmektedir. Bu nedenden dolayı SG tekniğinde çıkışa aktarılan güç düşük çıkmıştır. PI kontrolörü kullanılmasından dolayı bu teknikte elde edilen grafikteki salınımlar diğer iki yöntemle göre daha az olmuştur.



Şekil 20. ADG çıkış gücü

Şekil 20'de yine aynı değişken ışıma değeri için ADG yönteminin zamana bağlı çıkış gücünün değişimi verilmiştir. Burada yüke aktarılan ortalama çıkış gücü 71.09 W olarak ölçülmüştür. SG tekniğinde olduğu gibi PI kontrolör kullanıldığından çıkış gücü salınımı çok azdır. ADG tekniği belirli aralıklarla denklem 11'e göre yeni MGN'ni aradığından elde edilen çıkış gücü SG gerilim tekniğine göre daha fazladır. Öte yandan DG veya Aİ gibi anlık olarak MGNT yapmadığından yüke aktardığı güç de gradient tabanlı yöntemler olan Aİ ve DG tekniklerinden daha düşüktür.

Bu dört yöntem kullanılarak önerilen sistemin maksimum güç noktası takibi yapılmıştır. Simülasyonlarda kullanılan Aavid Solar ASMS-165P panelinden 25°C sabit sıcaklık ve ortalama 468 W/m² ışıma değeri için alınabilecek teorik maksimum çıkış gücü yaklaşık olarak 75.83 W'dır. Bu güç değeri, kayıpların ihmal edilmiş olma durumu yani devrenin ideal olma durumunda alınabilecek güç değeridir. Her bir yöntem için ayrı ayrı elde edilen maksimum güç değerleri bu teorik güç değerine oranlandığı takdirde, ilgili yöntemin verim değeri bulunmuş olur. MGNT yöntemlerine ait ortalama çıkış güç değerleri ile hesaplanan verimler Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 4. MGNT yöntemlerinin karşılaştırılması

Kriter	Teorik Beklenti	MGNT yöntemleri			
		DG	Aİ	SG	ADG
Çıkış gücü (W)	75.83	72.49	72.50	68.97	71.09
Verim (%)	100	95.59	95.6	90.95	93.74

6. Sonuç

Enerji ihtiyacının giderek artmasıyla birlikte çevreci ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik artmaktadır. PV santrallerin küçük güçte kurulumu panel maliyetlerinin azalması ve kullanım kolaylığı nedeniyle yaygınlaşmaktadır. Güneş enerjisinin üretildiği PV panellerin birçok parametreden etkilenmesinden ötürü düşen verimlerinin kontrol edilerek artırılması için mekanik yöntemlerin yanısıra elektronik yöntemlerin de kullanımı gerekmektedir. Bu çalışmada, literatürde en çok kullanılan iki gradient tabanlı MGNT yöntemi olan Aİ ve DG yöntemleri ve iki pasif MGNT yöntemi olan SG ve ADG teknikleri verim ve çıkış gücü açısından incelenmiş ve değişken ışınım altında performansları kıyaslanmıştır. PV panel olarak 164.85 W gücünde ve MGN gerilimi 35 V olan bir panel kullanılmıştır. PV panellerden elde edilen çıkış gerilimi bataryanın şarj edilmesinde kullanmak için 12 V'a düşürülmüştür. Gerilimi ayarlamak için, şarj akımında 1 A, şarj geriliminde 0.4 V dalgalanmaya müsaade eden anahtarlama frekansı 20 kHz olan düşürücü DC-DC dönüştürücü tasarlanmıştır. MGNT yöntemlerinin herbiri tasarlanan dönüştürücü sayesinde MATLAB® Simulink programında modellenmiş ve yöntemlerin performansları sabit 25°C sıcaklıkta değişken ışınım değeri için karşılaştırılmıştır. Simülasyonlarda, 19 Eylül 2019 tarihindeki Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa yerleşkesinden alınan ve ortalaması 468 W/m² olan 762 dakikalık gerçek ışınım değerleri kullanılmıştır. Sonuçlara göre gradient tabanlı takip tekniklerinde kullanılan kontrol yönteminden dolayı çıkış gücündeki dalgalanma pasif yöntemlerinki ile kıyaslandığında daha yüksektir. Gradient tabanlı yöntemlerin maksimum güç noktasına yaklaşma performansları pasif yöntemlere göre daha iyidir. Bunun yanısıra PV panelden çekilen güç bakımından da gradient tabanlı yöntemlerin daha verimli olduğu gözlenmiştir.

Kaynakça

- [1] Z. Çelik, A. S. Yılmaz, and E. Sert, "Mikro Şebeke Bağlantılı Güneş Enerji Üretim Sistemlerinin Kontrolü," *KSU. J. Eng. Sci.*, vol. 18, no. 2, pp. 41–48, 2015.
- [2] O. Arıkan, B. Kekezoglu, A. Durusu, E. Isen, A. Erduman, and A. Bozkurt, "Comparison of Charge Controllers on PV Panel Performance: An Experimental Study," *Int. J. Adv. Electron. Electr. Eng.*, vol. 3, no. 3, pp. 121–125, 2014.
- [3] L. L. Oscar, M. T. Penella, and M. Gasulla, "A new MPPT method for low-power solar energy harvesting," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 57, no. 9, pp. 3129–3138, 2010.
- [4] J. J. Nedumgatt, K. B. Jayakrishnan, S. Umashankar, D. Vijayakumar, and D. P. Kothari, "Perturb and observe MPPT algorithm for solar PV systems-modeling and simulation,"

- in 2011 Annual IEEE India Conference, 2011, vol. 19, no. 1, pp. 1–6.
- [5] P. K. Jena, A. Mohapatra, Srikanth and P. Choudhary, "Comparative study of solar PV MPPT by Perturbation and Observation and Fuzzy method," 2016 IEEE Uttar Pradesh Section International Conference on Electrical, Computer and Electronics Engineering (UPCON), Varanasi, pp. 515–518, 2016.
- [6] M. P. Raj and A. M. Joshua, "Modeling and performance analysis of perturb & observe, incremental conductance and fuzzy logic MPPT controllers," 2017 International Conference on Advances in Electrical Technology for Green Energy (ICAETGT), Coimbatore, pp. 13–18, 2017.
- [7] O. Ezinwanne, F. Zhongwen, and L. Zhijun, "Energy Performance and Cost Comparison of MPPT Techniques for Photovoltaics and other Applications," *Energy Procedia*, vol. 107, no. September 2016, pp. 297–303, 2017.
- [8] M. A. G. de Brito, L. Galotto, L. P. Sampaio, G. d. A. e Melo, and C. A. Canesin, "Evaluation of the Main MPPT Techniques for Photovoltaic Applications," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 60, no. 3, pp. 1156–1167, 2013.
- [9] A. K. Gupta, Y. K. Chauhan, and T. Maity, "Experimental investigations and comparison of various MPPT techniques for photovoltaic system," *Sadhana - Acad. Proc. Eng. Sci.*, vol. 43, no. 8, pp. 1–15, 2018.
- [10] E. Akboy, "Yüksek Güç Faktörlü Şebeke Bağlı Bir PV Sistemin Modellenmesi ve Farklı Işınım Altında Kontrolü," *Eur. J. Sci. Technol.*, pp. 794–802, Dec. 2019.
- [11] B. Subudhi and R. Pradhan, "A Comparative Study on Maximum Power Point Tracking Techniques for Photovoltaic Power Systems," *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 4, no. 1, pp. 89–98, 2013.
- [12] P. Sivakumar, A. Abdul Kader, Y. Kaliavaradhan, and M. Arutchelvi, "Analysis and enhancement of PV efficiency with incremental conductance MPPT technique under non-linear loading conditions," *Renew. Energy*, vol. 81, pp. 543–550, 2015.
- [13] N. H. Baharudin, T. M. N. T. Mansur, F. A. Hamid, R. Ali, and M. I. Misrun, "Performance Analysis of DC-DC Buck Converter for Renewable Energy Application," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1019, p. 012020, Jun. 2018.
- [14] D. S. Karanjkar, S. Chatterji, S. L. Shimi, and A. Kumar, "Real time simulation and analysis of maximum power point tracking (MPPT) techniques for solar photo-voltaic system," 2014 Recent Adv. Eng. Comput. Sci. RAECS 2014, pp. 1–6, 2014.
- [15] Y. E. Keskin, M. E. Başoğlu, İ. G. Tekdemir, and B. Çakır, "Comparison of P & O and Incremental Conductance Algorithms for Photovoltaic Systems," in *Elektrik – Elektronik – Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu*, 2014, pp. 91–95.
- [16] S. E. Dagteke and S. Unal, "Comparative analysis of maximum power point tracking methods for rapid environmental changes," in 2015 23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), pp. 1337–1340, 2015.
- [17] O. Kırıcıoğlu, M. Ünlü, and S. Çamur, "Değiştir&gözle ve artımsal iletkenlik algoritmalarının EN 50530 dinamik verim testine göre performanslarının değerlendirilmesi," *SAÜ Fen Bilim. Enstitüsü Derg.*, vol. 22, no. 1, pp. 85–93, 2018.
- [18] M. Lasheen, A. K. Abdel Rahman, M. Abdel-Salam, and S. Ookawara, "Adaptive reference voltage-based MPPT

- technique for PV applications,” *IET Renew. Power Gener.*, vol. 11, no. 5, pp. 715–722, 2017.
- [19] S. Sheel and O. Gupta, “New Techniques of PID Controller Tuning of a DC Motor — Development of a Toolbox,” *MIT Int. J. Electr. Instrum. Eng.*, vol. 2, no. 2, pp. 65–69, 2012.
- [20] A. Basu, S. Mohanty, and R. Sharma, “Tuning of FOPID Controller for Meliorating the Performance of the Heating Furnace Using Conventional Tuning and Optimization Technique,” *Int. J. Electron. Eng. Res.*, vol. 9, no. 1, pp. 975–6450, 2017.
- [21] S. M. Ferdous, M. A. Mohammad, F. Nasrullah, A. M. Saleque, and A. Z. M. S. Muttalib, “Design and simulation of an open voltage algorithm based maximum power point tracker for battery charging PV system,” 2012 7th Int. Conf. Electr. Comput. Eng. ICECE 2012, no. 2, pp. 908–911, 2012.



Farklı Kültürel Uygulamaların Yamula Patlıcanının Verim ve Bazı Kalite Özellikleri Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi

Hasan Pinar^{1*}, Emre Tosun¹, Sule Hasyüncü¹

¹Erciyes Üniversitesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0811-8228), hpınarka@yahoo.com

¹Erciyes Üniversitesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Kayseri, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-4441-9818), tocci387@gmail.com

¹Erciyes Üniversitesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Kayseri, Türkiye, (ORCID: 0000-0000-0000-0000), sule.hasyuncu38@gmail.com

(First received 27 April 2020 and in final form 26 January 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.727626)

ATIF/REFERENCE: Pinar, H., Tosun, E. & Hasyüncü, S. (2021). Farklı Kültürel Uygulamaların Yamula Patlıcanının Verim ve Bazı Kalite Özellikleri Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi. *European Journal of Science and Technology*, (21), 378-382.

Öz

Bu çalışma 2018 yılında Kayseri Kocasinan İlçesine bağlı Yemliha Mahallesi arazi koşullarında tesadüf parselleri deneme desenine göre 6 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Bu çalışmada adının Yemliha Mahallesinde bulunan Yamula Barajından alan Yamula Patlıcanı (*Solanum melongena* L.) Arazi koşullarında Yüksek Tünel, Alçak Tünel, Malç, Tohum ekimi ve Fide ile dikim yapılarak erkencilik, verim ve farklı kalite parametrelerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada “Yüksek Tünel+Malç Tohum, Yüksek Tünel+Malçsuz Tohum, Yüksek Tünel+Malç+Fide, Yüksek Tünel+Malçsuz+Fide, Alçak Tünel+Malç+Tohum, Alçak Tünel+Malçsuz+Tohum, Alçak Tünel+Malç+Fide, Alçak Tünel+Malçsuz+Fide, Açık+Malç+Tohum, Açık+Malçsuz+Tohum, Açık+Malç+Fide, Açık+Malçsuz+Fide” olmak üzere 12 farklı uygulama yapılmıştır. Çalışmada bitki gelişimleri, meyve ağırlığı, meyve boyu, meyve çapı, et sertliği, verim ve erkencilik özellikleri belirlenmiştir. Çalışmadan elde edilen bulgulara göre, Yüksek tünel uygulamalarından erkencilik elde edilirken açık yetiştiricilik uygulamalarından “Açık malç fide” uygulaması erkencilik bakımından ön plana çıkmıştır. Yine Yüksek tünel uygulamaları verim bakımından ön plana çıkarken, Açık yetiştiricilik yapılan uygulamalarından tohum uygulaması erkencilik ve verim açısından oldukça geriden takip etmiştir. Elde edilen bulgular Yamula patlıcan üretiminde farklı uygulamaların verim ve kaliteyi etkilemesi bakımından oldukça önemli olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Yamula patlıcanı, kültürel uygulamalar, erkencilik, verim, kalite

Determination of Different Cultural Applications on Yamula Eggplant of Yield and Some Quality Parameters

Abstract

In this study, it was aimed that determine to effect of 12 different different cultural applications on Turkish local eggplant cultivar (named yamula eggplant) of yield and some other quality parameters. 12 different applications such as High tunnel mulch seed, High tunnel no mulch seed, High tunnel mulch seedling, High tunnel no mulch seedling, Low tunnel+mulch seed, Low tunnel+without mulch seed, Low tunnel+mulch+seedling, Low tunnel+without mulch seedling, open field mulch seed, open field no mulch seed, open field mulch seedling, open field no mulch seedling were used. Plant growth, fruit weight, fruit size, fruit diameter, fruit meat hardness, yield and earliness properties have been observed. According to the results of the research, earliness and high yielding were determined with high tunnel seedling applications. Open field seeding application had low yield and lowest quality parameters. In conclusion, earliness, high yield and high quality for Turkish Local Eggplant cultivar should use high tunnel seedling applications.

Keywords: Yamula Eggplant, cultural applications, earliness, yield, quality

* Sorumlu Yazar: hpınarka@yahoo.com

1. Giriş

Patlıcan (*Solanum melongela* L.) (2n=24) tropik ve ılıman bölgelerde yetiştirilen önemli bir sebzedir. Çin, Hindistan ve Tayland'da kültüre alınmış olup, ardından önce Batı ve Kuzey Afrika'ya, 17.yüzyıl başlarında da Avrupa'ya getirilmiştir [1]. Türkiye'ye giriş tarihi net olarak bilinmemektedir. Solanaceae familyasının bir üyesi olan patlıcan (*Solanum melongena* L.) yurdumuzda yetiştiriciliği en fazla yapılan yazlık sebzelerden bir tanesidir [2]. Subtropik bölgelerde açıkta ve örtü altında yaygın olarak yetiştiriciliği yapılmaktadır [3]. Dünyanın en önemli patlıcan yetiştirici ülkeleri: Çin, Hindistan, Mısır ve Türkiye'dir. Ülkemizde Akdeniz, Güneydoğu Anadolu, Ege ve Marmara başta olmak üzere bütün bölgelerde üretimi yapılmaktadır. Ülkemizde önceleri açık arazilerde yapılmakta olan patlıcan yetiştiriciliği günümüzde örtüaltında da yapılmaktadır. Örtüaltı yetiştiriciliği bakımından domates, biber ve hıyardan sonra dördüncü sırada yer almaktadır. Akdeniz bölgesinde yapılan üretim daha çok örtü altında yapılırken, diğer bölgelerde üretim açıkta yapılmaktadır. Ülkemizin en çok yetiştirilip tüketilen yerel patlıcan çeşitleri; Kemer patlıcanı, Halkapınar patlıcanı, Bostan patlıcanı, Kırmastı patlıcanı, Yalova 49 patlıcanı, Gönen patlıcanı'dır. Son yıllarda bunların dışında hibrit patlıcan çeşitleri hızla üretimde yerini almıştır. Akdeniz sahil kuşağında genellikle örtüaltında hibrit çeşitler yoğun olarak yetiştirilmesine rağmen Anadolu'nun farklı bölgelerinde yerel olarak yetiştirilen standart çeşitler mevcuttur. Söz konusu çeşitler buldukları mikroklimaya çok iyi adapte olmuşlar ve yetiştirildikleri bölgedeki üreticilere ciddi katkı sağlamaktadır.

Bahsedilen çeşitlerden en önemlilerinden birisi ise Kayseri ili ve çevresinde yetiştiriciliği yapılmakta olan ve Yamula patlıcanı olarak adlandırılan standart patlıcan çeşididir. Özellikle Kayseri ve civarı illerin patlıcan üretimini Yamula patlıcanı oluşturmaktadır. Yamula patlıcanı kendine özgü çizgili yapısı, sert meyve eti gibi özellikleri ile ön plana çıkmakta özellikle yetiştirildiği bölgedeki insanlar tarafından kurutmalık, taze tüketim ve salamura olarak farklı şekillerde tüketilmektedir. Ancak üretim, üreticilerin kendi tohumlarını kendilerinin elde etmesiyle yapıldığından verimlilik giderek azalırken, hastalıklara hassasiyet, üretim bölgelerine yeni hastalık ve zararlıların girmesiyle üretimi kısıtlanmaya başlamıştır. Aynı zamanda pazar ve marketlerde üniform olmayan meyve boyu ve rengine sıkça rastlanmaktadır. Aynı çeşide ait genetik farklılığın yanında bölgede yoğunluğu artış gösteren hastalık ve zararlılar, iklimle ilgili olarak erkenciliğin sağlanamaması, olumsuz toprak koşulları gibi nedenlerle verimlilik ve dolayısıyla elde edilen gelir düşmekte ve ülkemizin sahip olduğu önemli patlıcan genetik kaynaklarından birisi üretilemez hale gelecektir. Bu sorunla ilgili alınacak önlemlerin başında söz konusu çeşidin ıslahı gelmekle birlikte bazı kültürel uygulamalar verim ve kalitenin artışına olanak sağlayabilir ve dolayısıyla çeşidin katma değeri artarsa hem mevcut çeşidin üretimi devam edecek hemde üretildiği bölgede yerel istihdamı sağlayabilecektir. Bu kültürel uygulamalara örtüaltı yetiştiricilik, malç uygulaması, fide ile yetiştiricilik sayılabilir. Örtü altı uygulamalarla verim artışı sağlayabilmenin yanında erkencilik ve meyve kalitesinde artış sağlanabilmektedir. Örtüaltı sebze yetiştiriciliğinde üretimdeki riski minimuma indirmek için direkt olarak tohum ekimi yerine daha çok topraklı fide dikimi ile üretime başlanır. Son yıllarda üreticiler tarafından bu yetiştirme sisteminin birçok avantajının (tohum kaybını azaltmak, üretime daha sağlıklı fidelerle girmek, üretim sezonunu daha iyi değerlendirmek, işçilik masraflarını

azaltmak vb.) bilinmesi ile birlikte hazır/aşılı fidelere yöneltiler görülmektedir [4]. Mevcut yamula patlıcanı üretiminde direkt araziye tohum ekimi yapılmakta ve çıkan tohumlarda seyreltme yapılarak üretim yapılmaktadır. Tohum ekim zamanının iklim koşullarına göre ayarlanamaması, fide seyreltmede fazla işçiliğin kullanılması gibi nedenlerle söz konusu yöntem etkili olamamaktadır. Alternatif olarak fide ile üretim hem verim, hemde kalite bakımından avantaj sağlayabilecektir.

Günümüzde sebze yetiştiriciliğini daha da üst seviyelere taşımak ve üretimdeki payını artırmak için yapılan uygulamalardan biri de malçlamadır ve malç kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bu amaçla pek çok araştırmacı malç uygulamalarının erkencilik, verim, kalite ve sıcaklık üzerine etkileri gibi farklı yönlerini araştırmışlardır [5]; [6]; [7]; [8]; [9]; [10]; [11]; [12], [12]. Malç uygulamaları ile toprak neminin korunması, toprak sıcaklığında değişiklik, erkencilik, verim artışı, yabancı ot kontrolü, iş gücüne gereksinimin azalması, tekstür ve strüktürün korunması ve gelişmesi, su ve besin maddesi kaybının azalması, daha temiz meyve elde edilmesi, hastalık ve zararlıların kontrolü ve ürün maliyetlerinin düşmesi sağlanılmaktadır (Ekinci ve Dursun, 2006).

Bu çalışmada ise farklı kültürel uygulamaların Yamula patlıcanında erkencilik, verim ve bazı kalite parametrelerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmalarla elde edilecek bulgular doğrultusunda bölgede, yamula patlıcanının pazara daha erken çıkması ve üreticilerin bu sayede ekonomik anlamda elinin güçlenmesini sağlayacaktır. Meyvenin bazı kalite özellikleri artırılarak daha cezbedici bir hale getirilmesiyle birlikte talep artacak ve daha değerli bir hale gelebilecektir. Hasat sayısı ve üretim periyodu uzatılarak her hasatta ve toplam hasatta birim alanda verimin artışı sağlanabilecektir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışma, Kayseri ili Yemliha kasabası arazi koşullarında yürütülmüştür. Araştırmada bitkisel materyal olarak Yamula Patlıcanı (*Solanum melongela* L.) tohum ve fideleri kullanılmıştır. Bütün uygulamalarda fide ve tohumlar sıra arası 70 cm ve sıra üzeri 40 cm olacak şekilde ekim ve dikim yapılmıştır. Her uygulamada 300 bitki olacak şekilde deneme kurulmuştur.

Farklı kültürel uygulamaların yamula patlıcanında erkencilik, verim ve farklı kalite parametrelerine etkilerinin belirlenmesi kapsamında yürütülen çalışmalar ölçeğinde 1200 m² arazide bu çalışma yürütülmüştür. Çalışma kapsamında yürütülen uygulamalar;

1. Yüksek tünel uygulaması
 - 1.1 Yüksek tünel malç tohum,
 - 1.2 Yüksek tünel tohum,
 - 1.3 Yüksek tünel malç fide,
 - 1.4 Yüksek tünel fide,
2. Alçak tünel uygulaması
 - 2.1 Alçak tünel malç tohum,
 - 2.2 Alçak tünel tohum,
 - 2.3 Alçak tünel malç fide,
 - 2.4 Alçak tünel fide,
3. Açıkta yetiştiricilik

- 3.1 Açık malç tohum,
- 3.2 Açık malçsız tohum,
- 3.3 Açık malç fide,
- 3.4 Açık malçsız fide uygulamalarıdır.

Bu bağlamda üç adet yüksek tünel (3 m genişlik, 2 m yükseklik, 35 m uzunluk), 8 adet alçak tünel (1m genişlik, 50cm yükseklik, 35m uzunluk) kurulmuştur. 400 m² bir alanda açıkta yetiştiricilik uygulamaları uygulanmıştır. Kurulan denemede bükülmüş demir su borusu, inşaat demiri, şeffaf PE örtü naylonu ve siyah malç naylonu kullanılmıştır. Sulama ekipmanı olarak damla sulama hortumu ve gübrenin etkin ve kolay dağıtımının sağlanması amacıyla bir adet gübre tankı kullanılmıştır. Fide yetiştirmek amacıyla Yamula patlıcanı(*Solanum melongela* L.) tohumları 9x5=45 'lük viyollere ekilmiştir. Ekimin yapıldığı ortam olarak 1:1:1 oranında torf-perlit karışımı kullanılmıştır. Tohum ekiminden sonra fideler 7-8 yaprak oluşturacak büyüklüğe gelene kadar serada yetiştirilmiştir. Daha sonra dikime uygun hale gelen fideler Yemliha kasabasında denemenin yapılacağı arazide fide ile ilgili uygulamaların yapılacağı parsele dikilmiştir. Tohumdan ekimler ise hava sıcaklığını dikkate alarak fide için tohum ekiminden 1 hafta sonra yapılmıştır. Gübreleme yapılmadan önce ve yapıldıktan sonra iki sefer toprak analizi yapılmıştır. Yapılan analiz; %11,1 toplam kireç, pH 7,51, EC değeri 0,035 mmhos/cm, organik madde oranı %1,16, P2O5 değeri 6,06kg/da olarak belirlenmiştir. Toprak tekstürü "Killi" dir. İkinci analiz ilk gübreleme yapıldıktan sonra yapılmıştır. Yapılan analiz sonucuna göre %11,2 Kireç, pH 8,34, EC değeri 0,31 mmhos/cm, Organik Madde oranı %1,86, P2O5 10,88kg/da şeklinde belirlenmiştir. Sulama, havanın sıcaklığı ve bitkinin gelişme evrelerine göre değişmekle birlikte üretim aşamasının başlarında 7-10 günde bir yapılırken daha sonra hava sıcaklığının artmasıyla birlikte buharlaşmanın daha fazla olması, bitkinin büyümesi ve verim çağına gelmesiyle birlikte ihtiyaca göre 3-5 günde bir şekilde devam etmiştir. Toprak analizi yapıldıktan sonra oluşturulan program kapsamında gübreleme yapılmıştır.

Her uygulamada ilk meyve oluşum başlangıcında bitki boyu(cm) ölçülmüştür. Ayrıca her uygulamaya ait bitkilerden haftalık hasat yapılmış, ilk hasat tarihi kaydedilmiş ve meyve boyu (mm), meyve ağırlığı(gr), meyve çapı(mm), meyve eti sertliği(kg), bitki başına toplam verim(kg) değerleri kaydedilmiş ve elde edilen bulgular SPSS istatistik bilgisayar paket programı ile tesadüf parselleri deneme desenine göre varyans analizine tabi tutulmuş, F değeri önemli çıkan parametrelerde %1 önem seviyesinde LSD testine göre gruplandırmalar yapılmıştır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Yürütülen bu çalışmada farklı uygulamaların Yamula Patlıcanında erkencilik, verim ve bazı farklı kalite

parametrelerine etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. Çalışmada ilk meyve oluşumu aşamasında bitki boyu ölçülmüş, meyve ağırlığı, meyve boyu, meyve çapı, meyve eti sertliği ve her bitkiden alınan olgun meyve sayısı her hasat döneminde (haftada bir) belirlenmiş ve elde edilen verilere ait ortalamalar Çizelge 1'de verilmiştir. Çalışmadan elde edilen bulgulara göre; her uygulamada elde edilen bulgulara göre bitki boyu 19,44-72,88 cm arasında belirlenirken en yüksek bitki boyu yüksek tünel+malçsız+fide uygulamasında (72,88 cm) elde edilmiştir. En düşük bitki boyu ise Açık+malçsız+tohum uygulamasından (19,44 cm) elde edilmiştir. Ortalama meyve ağırlığı 127,28-172,79 g arasında belirlenirken, en yüksek meyve ortalama ağırlığına Alçak tünel+malçlı+fide uygulamasında elde edilmiştir. Diğer taraftan en düşük meyve ağırlığı Yüksek tünel+fide+malçsız uygulamasında belirlenmiştir. Bu uygulamada bitki başına verim ve bitki boyu yüksek olmasına rağmen ortalama meyve ağırlığının düşük olmasının sebebi; aynı bitki üzerinde çok sayıda meyve olmasından, dolayısıyla meyve sayısındaki artışa göre meyve ağırlığında azalma olması muhtemeldir. Farklı uygulamaların meyve boyuna etkisi incelendiğinde ise en yüksek meyve boyuna Yüksek Tünel+Malçsız+Tohum uygulamasında (159,74 mm) belirlenirken en düşük meyve boyu ise Yüksek Tünel+Malçlı+Fide uygulamasından elde edilmiştir. Yine meyve boyunun Yüksek Tünel+Fide uygulamasında düşük olmasının nedeni; meyve sayısındaki artış olarak söylenebilir. Ortalama meyve çapında ise en yüksek Yüksek Tünel+Malç+Tohum uygulamasında belirlenirken, en düşük meyve çapı Açık+Malç+Tohum uygulamasından elde edilmiştir. Meyve eti sertliği hem raf ömrü bakımından hem de kurutma ve salamura yapımı bakımından önemli kriterdir. Bu çalışmada yamula patlıcanının en önemli özelliklerinden birisi olarak bilinen meyve eti sertliğine farklı uygulamaların etkisi incelenmiştir. Elde edilen bulgulara göre; meyve eti sertliği en yüksek Alçak Tünel+Malçsız+Tohum uygulamasından (5,58 kg) elde edilirken, en düşük meyve sertliği 3,29 kg ile Yüksek Tünel+Malçsız+Tohum uygulamasında belirlenmiştir. Yüksek Tünel uygulamalarında genel olarak meyve eti sertliği düşük belirlenmiştir. Farklı uygulamalarda en büyük beklenti verim parametreleridir. Verim parametrelerinde en önemli kriter ise bitki başına verimdir. Bu çalışmada bitki başına verim bakımından uygulamalar arasındaki fark istatistiki olarak önemli bulunmuş ve en yüksek bitki başına verim Yüksek Tünel+Malçsız+Fide uygulamasında belirlenirken en düşük verim ise Açık+Malçsız+Tohum uygulamasından elde edilmiştir. Bitki başına verim bakımından elde edilen fark ise tünel uygulamalarındaki iklimin kısmen kontrol edilmesi, fide ile üretimin verime olumlu yansımaları ve açık alanda malçsız uygulamanın özellikle transpirasyonun önlenememesi ve yabancı ot kontrolünün sağlanamaması olarak sıralanabilir.

Çizelge 3.1 Yamula patlıcanında farklı uygulamaların verim ve bazı kalite parametrelerine etkilerine ait değerler

Uygulamalar		Bitki Boyu(cm)	Meyve Ağırlığı	Meyve Boyu(mm)	Meyve Çapı(mm)	Meyve Eti Sertliği(kg)	Bitki Başına Verim(kg)	
Açık	Fide	Malçlı	40,17 e	157,85 c	145,87 b	47,62 bc	4,76 cd	4,46 c
		Malçsız	22,05 h	162,41 b	144,27 b	46,18 bc	4,77 cd	3,83 e
	Tohum	Malçlı	31,21 g	148,03 d	139,39 c	44,04 d	4,43 e	3,51 f
		Malçsız	19,44 ı	137,50 g	131,33 fg	45,13 cd	5,24 b	3,19 g
Alçak Tünel	Fide	Malçlı	32,87 fg	172,79 a	145,38 b	48,39 ab	5,01 bc	4,15 d
		Malçsız	34,35 f	149,16 d	138,91 cd	47,56 ab	5,20 b	4,46 c
	Tohum	Malçlı	31,73 g	139,88 f	132,98 f	47,17 c	4,61 de	3,83 e
		Malçsız	32,14 fg	136,12 g	136,87 e	48,12 bc	5,58 a	3,51 f
Yüksek Tünel	Fide	Malçlı	68,21 b	139,13 f	129,78 g	48,24 abc	3,79 g	5,74 b
		Malçsız	72,88 a*	127,28 h	130,65 g	47,16 bc	4,09 f	6,38 a
	Tohum	Malçlı	63,67 c	145,82 e	137,58 de	49,31 a	3,64 g	4,46 c
		Malçsız	55,23 d	161,32 b	159,74 a		3,29 h	3,83 e
<i>Maksimum</i>		72,88	172,79	159,74	49,31	5,58	6,38	
<i>Minimum</i>		19,44	127,28	129,78	44,04	3,29	3,19	
<i>Ortalama</i>		42,59	148,38	139,72	47,21	4,50	4,34	
<i>LSD</i>		2,297	1,481	1,774	1,181	0,272	0,173	

Ayrıca yapılan gözlemler neticesinde uygulamalarda Açık Yetiştiricilik alanlarında patates böceği çok yoğun görülürken, Yüksek tünel ve Alçak tünel uygulamalarının yapıldığı alanlarda patates böceği zararlısına rastlanmamıştır.

Erkencilik açısından bakıldığında, Yüksek Tünel uygulamaları ve bu uygulamalardan sonra ise Açık+Malç+Fide uygulaması en erkenci özelliği göstermiştir. İlk hasat sadece bu uygulamalardan yapılmıştır. Yüksek Tünel+Fide uygulaması bütün uygulamalar arasında en erkenci özelliği gösteren uygulama olmuştur. Erkencilik konusunda en geç çiçeklenme gösteren ve ürün veren uygulama ise Açık+Tohum uygulaması olmuştur. Yüksek tünel uygulamaları ve Açık+Malç+Fide uygulaması diğer uygulamalardan bir hafta önce hasat olgunluğuna eriştiğinden verim açısından avantajlı özellik göstermiştir. Örtü altı tarımı; seralar ve alçak plastik tüneller içerisine alan, iklim koşullarının açık alanda bitki yetiştiriciliğine uygun olmadığı zamanlarda, ekonomik olarak kültür bitkilerinin yetiştirilmesine imkan sağlayan, bitkisel üretim için olması gerekli gelişim koşullarını sağlayabilen yapılardır [12]. Patlıcan için en uygun örtü altı sıcaklığı 20-30oC'dir. Sıcaklık gece 15oC'nin altına düştüğü zaman meyve bağlamaz. Gelişme düzeyindeki toprak sıcaklık isteği, 22oC'dir [12]. Pakyürek ve Kaşka, [12]'nin bir çalışmada, tünel tipi ve malç örtülerinin karpuzlarda bitki gelişimi ile erkenci ve toplam verimlerine etkileri incelenmiş ve malç materyallerinin (siyah, şeffaf PE) yapılan kontrole göre erkenci verimi yüksek düzeyde artırdığı (kontrolde 0.23 ton/da, siyah PE de 0.88 ton/da ve şeffaf PE'de 0.76 ton/da) toplam verimde ise en fazla verimin 4.22 ton/da ile şeffaf PE'den alındığı, siyah PE'de 3.47 ton/da olan toplam verimin kontrolde 3.17 ton/da olduğu belirlenmiştir.

Bütün uygulamalar incelendiğinde, yüksek verimli bir yetiştiricilik yapılması isteniyorsa Yüksek tünel kurularak fide ile dikim yapılması uygun görülmüştür. Üretim periyodunu uzatmak ve hasat sayısını arttırmak amacıyla fideler önceden hazırlanarak hava durumuna göre nisan ayının başında dikim işlemi yapılabilir.

Alçak Tünel ve Yüksek Tünel uygulamalarında fide ile dikim yapıldığında malç kullanılmayan uygulamalar erkencilik, verim ve diğer kalite parametrelerinde malç kullanılan uygulamalara göre daha avantajlı gözükmetedir. Tohum ile ekim yapılan uygulamalarda malç kullanılan uygulamalar erkencilik, verim ve diğer kalite parametrelerinde malç kullanılmayan uygulamalara göre daha avantajlı olduğu belirlenmiştir. Malç uygulamasında toprak yüzeyinde buharlaşmayı engellenmesinden dolayı daha az sulamaya ihtiyaç duyulur. Şeffaf plastikle malçlama yapıldığında toprak sıcaklığı 3-5 °C daha çok olduğundan bitki kökleri daha kuvvetli gelişmekte ve bu durum daha iyi bir büyümeyi teşvik etmektedir. Yabancı otların kontrolünde yarar sağlar. Plastik malçlamada toprak nemini tuttuğu için seralarda neme bağlı olarak gelişen mantari ve bakteriyel hastalıkların yayılımını engellemektedir. Patlıcan, domates, hıyar, biber ve kavun gibi bazı sebzelerde plastik malçlama uygulandığı zaman olgunlaşma zamanının daha erken olduğu belirlenmiştir. Bu sayede erkenci meyve eldesi ürünün yüksek fiyattan satışını sağlayacağından kazançlı olmaktadır. Plastikte belirtilen erkencilik organik malçlarda ise soğutucu etkisinden dolayı çoğu üründe olgunlaşmayı geciktirdiği saptanmıştır [13]; [16]; [17].

4. Sonuç

Açık Yetiştiricilik uygulamalarında fide ile dikim yapıldığında da tohum ile ekimde de malç kullanılan uygulamalar erkencilik, verim ve diğer kalite parametrelerinde malç kullanılmayan uygulamalara göre daha avantajlı olmuştur. Fide ile dikim uygulamaları erkencilik, verim ve diğer kalite parametrelerinde tohum ile ekim yapılan uygulamalardan daha avantajlı olduğu kanısına varılmıştır. Fide ile yetiştiricilik yapan uygulamalarda büyüme daha üniform ve kuvvetli özellikler gösterirken, tohum ekimi yapılan uygulamalar düzgün çıkış yapmamış, üniform çimlenme ve büyüme özellikleri göstermemiştir. Tünel ve ark. (2010)'a göre sebze yetiştiriciliğinde üretimdeki riskleri en aza indirmek için seralarda direk tohum ekimi yerine daha çok topraklı fide dikimi

ile üretime başlanır. Son yıllarda üreticiler tarafından bu yetiştirme sisteminin birçok avantajının (tohum kaybını en aza indirmek, daha sağlıklı fidelerle üretime başlamak, üretim

sezonunu daha iyi değerlendirmek, işçilik masraflarını azaltmak vb.) bilinmesi ile birlikte hazır/aşılı fideye yönelikleri görülmektedir.

Çizelge 3.2 Yamula patlıcanında farklı uygulamalardan elde edilen verilere ait varyans analiz tablosu

Kaynak	F Oranları					
	Bitki Boyu	Meyve Ağırlığı	Meyve Boyu	Meyve Çapı	Meyve Eti Sertliği	Bitki Başına Verim
Tünel Tipi	2439,238*	257,950*	7,192*	25,719*	234,619*	562,288*
Üretim Materyali	174,090*	485,412*	1,946*	13,337*	6,221*	1004,925*
Toprak Örtüsü	127,593*	268,462*	24,677*	0,516 ^{ns}	33,638*	20,718*
Tünel Tipi x Üretim Materyali	33,834*	2027,645*	617,902*	15,539*	9,386*	130,236*
Tünel Tipi x Toprak Örtüsü	108,985*	230,364*	188,075*	0,325 ^{ns}	10,551*	20,718*
Üretim Materyali x Toprak Örtüsü	7,750*	313,977*	134,496*	0,373 ^{ns}	7,811*	56,737*
Tünel Tipi x Üretim Materyali x Toprak örtüsü	36,578*	468,274*	124,255*	1,248 ^{ns}	18,729*	43,050*

*Önemli p<0.01, ^{ns}: Önemli değil

Yamula patlıcanında 12 farklı uygulamanın verim ve bazı kalite kriterlerine etkilerinin incelendiği çalışmada, Tünel Tipi, Üretim Materyali, Toprak Örtüsü, Tünel Tipi x Üretim Materyali, Tünel Tipi x Toprak Örtüsü, Üretim Materyali x Toprak Örtüsü, Tünel Tipi x Üretim Materyali x Toprak örtüsü meyve çapı hariç tüm diğer incelenen özelliklerin interaksyonu istatistikî(p<0.01) olarak önemli bulunurken, bitki çapı bakımından Tünel Tipi x Toprak Örtüsü, Üretim Materyali x Toprak Örtüsü, Tünel Tipi x Üretim Materyali x Toprak örtüsü interaksyonları önemsiz bulunmuştur (Çizelge 2).

5. Teşekkür

Bu çalışma Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Birimi (BAP) tarafından desteklenmiştir(Proje No: FYL-2018-8071).

Kaynakça

- [1] Daunay M.C., Janick, J., 2007. History and iconography of eggplant. *Chémica horticulturæ*, 47 (3) 16-22
- [2] Boyacı, H.F. 2007. Patlıcanlarda Fusarium solgunluğuna dayanıklılık kaynakları ve dayanıklılığın kalıtımı. Doktora Tezi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitki Koruma Anabilim Dalı, Adana.
- [3] Mutlu, N., Boyacı, F.H., Göçmen, M., Abak, K. 2008. Development of SRAP, SRAP-RGA, RAPD and SCAR markers linked with a Fusarium wilt resistance gene in eggplant. *Theor Appl Genet.* 117:1303-1312
- [4] Tüzel, Y., Gül, A., Daşgan, H.Y., Öztekin, G.B., Engindeniz, S., Boyacı, H.F., Ersoy, A., Tepe, A., Uğur, A., 2010. Örtüaltı Yetiştiriciliğinin Gelişimi. VII. Türkiye Ziraat Mühendisliği Teknik Kongresi, 11-15 Ocak 2010, Ankara, 1: 559-578.
- [5] Abak, K., Pakyürek, A. Y., Sarı, N., Büyükalaca, S., 1991. Sera Kavun Yetiştiriciliğinde Malç ve Farklı Budama Yöntemlerinin Verim, Erkencilik ve Meyve İriliği Üzerine Etkileri, Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 6(4):39-50
- [6] Abak, K., Pakyürek, A. Y., Sarı, N., 1992. Malç ve Alçak Tünel Uygulamalarının Serada Yetiştirilen Biberin Erkenciliği, Verimi ve Kök Gelişimi ile Toprak Sıcaklığı Üzerine Etkileri, Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 7(1):1-12.

- [7] Bonanno, A. R., Lamont, W. J., 1987. Effect of Polyethylene Mulches, Irrigation Method And Row Covers on Soil and Air Temperature and Yield of Muskmelon, *J.Amer. Soc. Hort. Sci.* 112(5):735-738.
- [8] Carter, J., Johnson, C., 1988. Influence of Different Types of Mulches on Eggplant Production, *HortScience* 23(1):143-145.
- [9] Çevik, B., Kanber, R., Biçici, M., Pakyürek, Y., Köksal, H., 1992. Sera Koşullarında Yetiştirilen Hıyarda Değişik Toprak Örtü Materyallerinin Verim, Kalite ve Su Tüketimine Etkileri, Türkiye I. Ulusal Bahçe Bitkileri Kongresi, Cilt II, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi, İzmir.
- [10] Geboloğlu, N., 1998. Yüksek Plastik Tünellerde Hıyarın Verim ve Erkenciliği Üzerine Değişik Malç Materyalleri ve Ekim Zamanlarının Etkisi, II. Sebze Tarımı Sempozyumu, 26-28 Eylül, 1998, Tokat, s: 168-173.
- [11] Pakyürek, A. Y., Abak, K., Sarı, N., Güler, Y., 1992. Harran Ovası Koşullarında Toprak Örtüsü (Malç) Kullanımının Domates, Biber ve Patlıcanda Verim, Erkencilik ve Kalite Üzerine Etkileri, 13-16 Ekim 1992 Türkiye I.Ulusal Bahçe Bitkileri Kongresi, Cilt II, Ege Üniv. Ziraat Fak., Bornova, İzmir.
- [12] Pakyürek, A., Kaşka, N., 1992. Tünel Tipleri ve Toprak Örtülerinin Karpuzlarda Bitki Gelişimi İle Erkenci ve Toplam Verimleri Üzerine Etkileri. 13-16 Ekim 1992 Türkiye I.Ulusal Bahçe Bitkileri Kongresi, Cilt II, Ege Üniv. Ziraat Fak., Bornova, İzmir.
- [13] Preece, J. E., Read, P. E., 1993. The Biology of Horticulture in Introductory Textbook, p:263-269.
- [14] Sevgican A., 1999a. Örtüaltı Sebzeçiliği. Cilt I. E.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları No:528. ISBN 975-483-384-2, İzmir.
- [15] Sevgican, A., 1982a. Serada Patlıcan Yetiştiriciliği. Ege Üniv. Zir. Fak. Yay. No:455.
- [16] Splittstoesser, W. E., 1990. Vegetable Growing Handbook, Organic and Traditional Methods, Plant Physiology in Horticulture University of Illinois, Urbana, Illinois, p:112-115
- [17] Swiader, J. M., Ware, G. W., Collum, J. P., 1992. Producing Vegetable Crops. Interstate Publishes, Inc. Danville, Illinois. p:144- 149.



Simulation of Pulse Height Distribution and Full Energy Peak Efficiency of 2"x2" Scintillation Detectors

Zehra Nur Kuluöztürk^{1*}, Nilgün Demir²

¹ Bitlis Eren University, Vocational School of Health Services, Bitlis, Turkey (ORCID: 0000-0003-0929-5987), znkuluozturk@beu.edu.tr

² Bursa Uludağ University, Physics Department, Bursa, Turkey (ORCID: 0000-0003-2245-8461), dnilgun@uludag.edu.tr

(First received 26 June 2020 and in final form 20 January 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.758756)

ATIF/REFERENCE: Kuluöztürk, Z. N. & Demir, N. (2021). Simulation of Pulse Height Distribution and Full Energy Peak Efficiency of 2"x2" Scintillation Detectors. *European Journal of Science and Technology*, (21), 383-388.

Abstract

In this study, the variation of photon pulse height distributions and full energy peak efficiencies of 2x2 inch NaI(Tl) and LaBr₃(Ce) detectors depending on the distance between the detector and source were investigated. Calculations for 2 cm and 5 cm detector source distances and 30.973, 59.54, 80.998, 302.85, 356.01, 661.65, 1173.24, 1332.5 and 1408.01 keV gamma energies were obtained with FLUKA, one of the radiation transport simulation codes. The Compton edge in simulated photon pulse height distributions is compatible with the theoretically calculated results. In addition, when the full energy peak efficiency values are compared with the different methods in the literature, the FLUKA simulation results are observed are satisfactory.

Keywords: 2"x2" NaI(Tl) detector, 2"x2" LaBr₃(Ce) detector, Puls height distribution, Full energy peak efficiency, FLUKA.

2"x2" Sintilasyon Dedektörlerinin Puls Yüksekliği Dağılımının ve Tam Enerji Tepe Verimliliğinin Simülasyonu

Öz

Bu çalışmada, 2x2 inç NaI(Tl) ve LaBr₃(Ce) dedektörlerinin foton puls yüksekliği dağılımlarının ve tam enerji tepe verimliliklerinin dedektör ve kaynak arasındaki mesafeye bağlı değişimleri araştırılmıştır. 2 cm ve 5 cm dedektör kaynak mesafeleri ve 30.973, 59.54, 80.998, 302.85, 356.01, 661.65, 1173.24, 1332.5 ve 1408.01 keV gama enerjileri için yapılan hesaplamalar radyasyon taşıma simülasyon kodlarından biri olan FLUKA ile elde edilmiştir. Simüle edilen foton puls yüksekliği dağılımlarındaki Compton sınır değerleri teorik olarak hesaplanan sonuçlarla uyumludur. Ek olarak, tam enerji tepe verimlilik değerleri literatürdeki farklı yöntemlerle karşılaştırıldığında FLUKA simülasyon sonuçlarının tatmin edici olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: 2"x2" NaI(Tl) dedektör, 2"x2" LaBr₃(Ce) dedektör, Puls yüksekliği dağılımı, Tam enerji tepe verimliliği, FLUKA.

* Corresponding Author: Bitlis Eren University, Vocational School of Health Services, Bitlis, Turkey, ORCID: 0000-0003-0929-5987, znkuluozturk@beu.edu.tr

1. Introduction

Scintillation detectors of different crystal types and sizes are often preferred due to their successful quantitative evaluation in gamma-ray analysis studies. NaI(Tl) detectors with thallium doped sodium crystal have been used as gamma spectroscopy system with engaging performances for many years. LaBr₃(Ce) detectors have been used as an alternative to the NaI(Tl) detector system in recent years due to its impressive properties such as energy resolution, high gamma detection efficiency, and room temperature operation. Calibration is one of the most essential criteria for the accuracy of radiation detection in these two scintillation detectors. The calibration procedure can be classified as resolution calibration, energy calibration, and efficiency calibration (Mouhti et al., 2018). Efficiency calibration is the relationship between the count under the peak of the relevant energy and the number of particles emitted from the radioactive source. Although efficiency calibration depends on the energy of the radiation source such as resolution and energy calibration, also parameters such as the distance between the source-detector; and the geometry of the source are additional factors that affect efficiency calibration (Casanovas et al., 2012).

Monte Carlo simulations, which can simulate the interaction of radiation with detector material, have become a useful method for characterizing detector parameters. There are many studies in which successful results are reported in the calculation of detector response function with Monte Carlo based codes (Baccouche et al., 2012; Casanovas et al., 2012; Salgado et al., 2012; Akkurt et al., 2015; Hajheidari et al., 2016; Tekin, 2016; Mouhti et al., 2018; Tarım & Gurler, 2018). This study is concerned with the FLUKA simulations of the efficiency of similar size 2"x2" NaI(Tl) and 2"x2" LaBr₃(Ce) detectors. The efficiency of 2"x2" NaI(Tl) and 2"x2" LaBr₃(Ce) detectors were calculated for nine different sources in the 30.973 keV – 1408.01 keV energy range. The effect of source energy and detector-source distance on the efficiency of detectors was determined. The results obtained with FLUKA code were compared with different methods in the literature.

2. Material and Method

2.1. Description of Monte Carlo simulations

The efficiency simulations of 2"x2" NaI(Tl) and LaBr₃(Ce) detectors were calculated using FLUKA Package 2020.0.3 version. More detailed information about this simulation code that describes radiation interaction and transport in detector materials is available in (Ferrari et al., 2005; Böhlen et al., 2014). The input file was prepared with FLAIR (version flair-2.3-0) (Vlachoudis, 2009) which an advanced interface for editing FLUKA input files and visualizing output files. The photons with an isotropic distribution of 30.973 keV – 1408.01 keV energy range were generated in the BEAM card. The sources were positioned with the BEAMPOS card at a distance of 2 cm and 5 cm from the detector. The NaI(Tl) and LaBr₃(Ce) detectors have a cylindrical geometry of 5.08 cm x 5.08 cm dimensions and are covered with 0.05 cm thick Al (Fig. 1). The next layer is MgO and air for NaI(Tl) and LaBr₃(Ce) detectors, respectively. The SiO₂ layer is present at the end of the crystal. The densities of the NaI, LaBr₃, MgO, Al and SiO₂ materials used in the simulation were defined 3.67 g/cm³, 5.29 g/cm³, 2.0 g/cm³, 2.70 g/cm³, and 0.94 g/cm³, respectively. The properties (such as atomic number, atomic weight, density) of layers of the NaI(Tl) and LaBr₃(Ce) detectors

used in the simulations were defined by MATERIAL card and COMPOUND cards. Detector geometry on the FLAIR geometry editor is shown in Figure 2, which allows visual editing of the bodies and regions with debugging information. The geometry was taken as one more than one right circular cylinder (RCC) and delimited by planes perpendicular to the z-axis (XYP) to form different layers in the dimensions given in Figure 1.

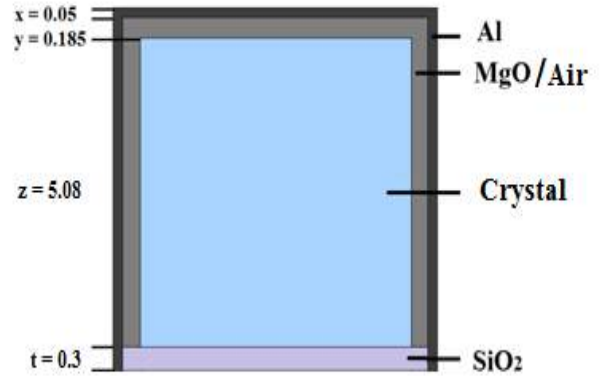


Figure 1. Geometry of 2"x2" scintillation detector

PRECISION was used as the DEFAULTS card allowing the most detailed FLUKA simulation, and the production and transport threshold energy values for the photons were taken as 10 keV. The statistical error in FLUKA depends on the number of particles to be simulated. To obtain an excellent statistical result, the input file was run with five million primaries as 5 parallel programs.

The full energy peak efficiency of the detectors was calculated as the ratio of the number of the photons emitted with the count in the full energy peak corresponding to the measured energy, for the quantitative evaluation of the simulation model (Tam et al., 2017). For this purpose, the DETECT card was used to calculate the amount of deposited energy per event in the detector crystal.

3. Results and Discussion

In this study, the performance of the FLUKA code was tested for the efficiency of 2"x2" NaI(Tl) and 2"x2" LaBr₃(Ce) detectors. The full energy peak efficiency was calculated for 30.973, 59.54, 80.998, 302.85, 356.01, 661.65, 1173.24, 1332.5, and 1408.01 keV isotropic distribution at a distance of 2 cm and 5 cm from the detector surface. For the efficiency of 2"x2" NaI(Tl) and 2"x2" LaBr₃(Ce) detectors, Casanovas et al. obtained experimental results and compared these results with the EGS code (Casanovas et al., 2012). For the efficiency of the 2"x2" NaI(Tl) detector, Mouthi et al. obtained experimental results and compared these results with the MCNP code (Mouhti et al., 2018). Similarly, for the 2"x2" LaBr₃(Ce) detectors, Mouthi et al. compared the results obtained with MCNP code to the study of Casanovas et al.

Table 1 and Table 2 show the full energy peak efficiency values obtained by the FLUKA code for NaI(Tl) and LaBr₃(Ce) detectors, respectively. These results are compared with the studies of Casanovas et al. and Mouthi et al.. Table 3 shows the relative differences (RD(%)) between the efficiency results calculated by the FLUKA code and the results of other methods previously reported in the literature. As seen from the results, the maximum RD(%) was observed for the NaI(Tl) detector at 59.54

keV energy. As it is understood from the tables, as the energy of the gamma source increases, the probability of the gamma interacting with the detector crystal to be absorbed will decrease

and the detector efficiency will decrease. The results obtained by FLUKA code are in good agreement with experimental studies and other Monte Carlo codes.

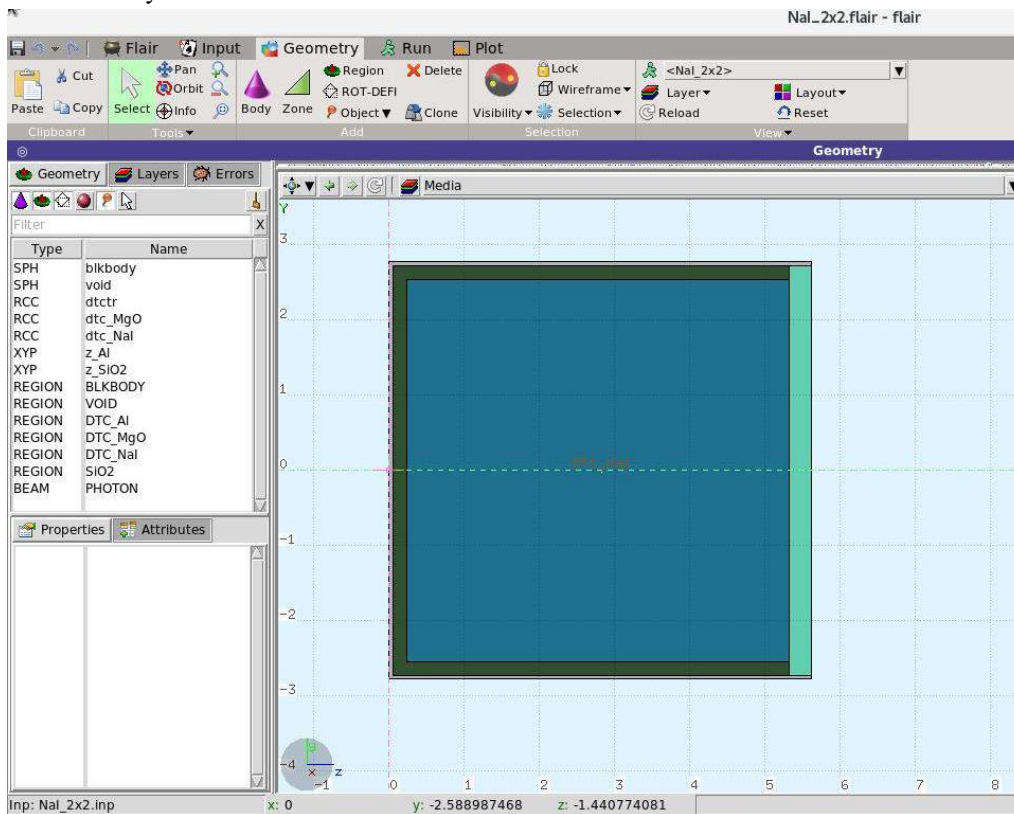


Figure 2. Detector geometry by FLAIR geometry editor

Table 1. Comparison of the full energy peak efficiency of 2"x2" NaI(Tl) detector calculated by the FLUKA with experimental and MC codes

Gamma Energy (keV)	Source-detector distance (cm)	2"x2" NaI(Tl)				
		FLUKA (Present work)	EGS (Casanovas et al.)	EXP (Casanovas et al.)	MCNP (Mouhti et al.)	EXP (Mouhti et al.)
30.973	2	5.15	-	-	-	-
	5	2.40	-	-	-	-
59.54	2	12.80	-	-	13.04	11.30
	5	3.25	2.570	2.5	-	-
80.998	2	6.89	-	-	-	-
	5	3.00	3.141	3.2	-	-
302.85	2	4.55	-	-	-	-
	5	1.99	-	-	-	-
356.01	2	3.86	-	-	-	-
	5	1.69	1.506	1.5	-	-
661.65	2	3.03	-	-	3.05	2.98
	5	1.05	1.045	1.0	-	-
1173.24	2	1.60	1.302	1.3	1.44	1.27
	5	0.56	-	-	-	-
1332.5	2	1.40	1.141	1.2	1.27	1.21
	5	0.49	-	-	-	-
1408.01	2	1.31	-	-	-	-
	5	0.46	-	-	-	-

Table 2. Comparison of the full energy peak efficiency of 2"x2" LaBr₃(Ce) detector calculated by the FLUKA with experimental and MC codes

Gamma Energy (keV)	Source-detector distance (cm)	2"x2" LaBr ₃ (Ce)			
		FLUKA (Present work)	EGS (Casanovas et al.)	EXP (Casanovas et al.)	MCNP (Mouhti et al.)
30.973	2	7.00			
	5	3.07			
59.54	2	10.28	-	-	-
	5	3.76	3.09	3.00	3.95
80.998	2	7.94	-	-	-
	5	3.38	3.576	3.80	-
302.85	2	5.19	-	-	-
	5	2.24	2.01	2.00	2.34
356.01	2	4.53	-	-	-
	5	1.96	2.01	1.80	2.05
661.65	2	4.08	-	-	-
	5	1.39	1.31	1.30	1.45
1173.24	2	2.38	2.15	2.10	2.48
	5	0.83	-	-	-
1332.5	2	2.13	1.90	2.00	2.20
	5	0.74	-	-	-
1408.01	2	2.02	-	-	-
	5	0.70	-	-	-

Table 3. Relative differences (RD(%) = $A - B / A \times 100$) between the FLUKA code and other methods for the efficiency of NaI(Tl) and LaBr₃(Ce) detectors

	2"x2" NaI(Tl) RD(%)		2"x2" LaBr ₃ (Ce) RD(%)	
	max	min	max	min
FLUKA - EGS [Casanovas et. al., 2012]	-26.46	-0.48	-21.68	2.49
FLUKA - MCNP [Mouhti et. al., 2018]	-11.11	0.65	4.81	3.18
FLUKA - EXP [Casanovas et. al., 2012]	-23.07	-0.23	-25.33	-6.5
FLUKA - EXP [Mouhti et. al., 2018]	-25.98	-1.68	-	-

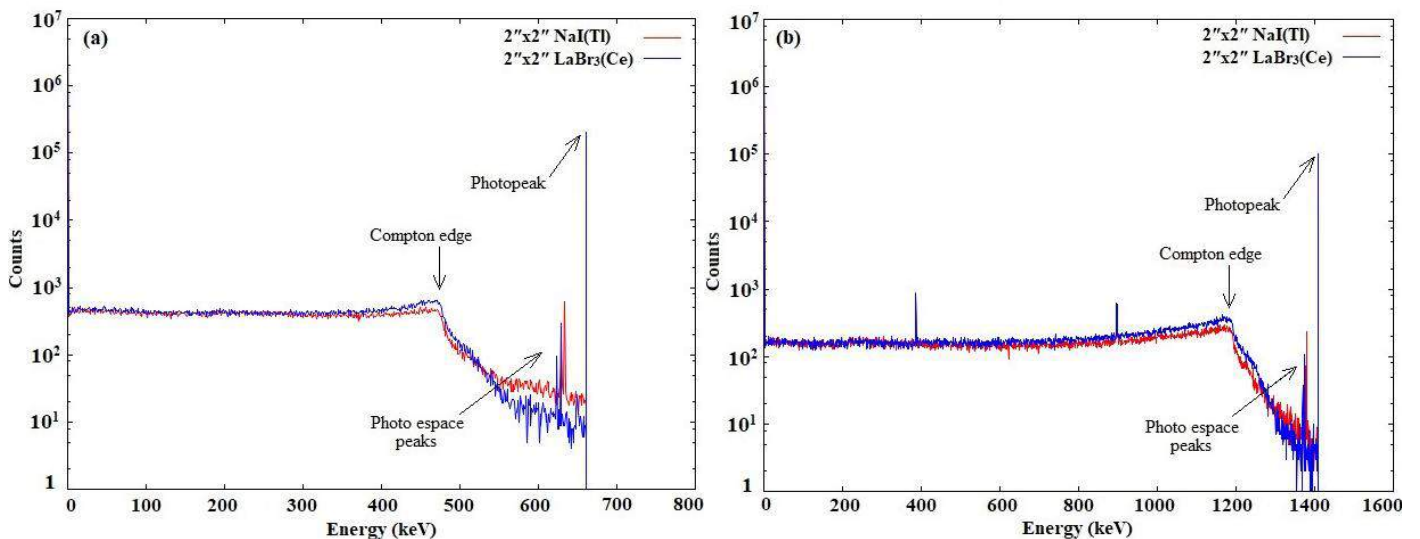


Figure 3. The pulse height distributions obtained by the FLUKA code for gamma sources of (a) 661.65 keV and (b) 1408.01 keV placed at 2 cm distance to the detector

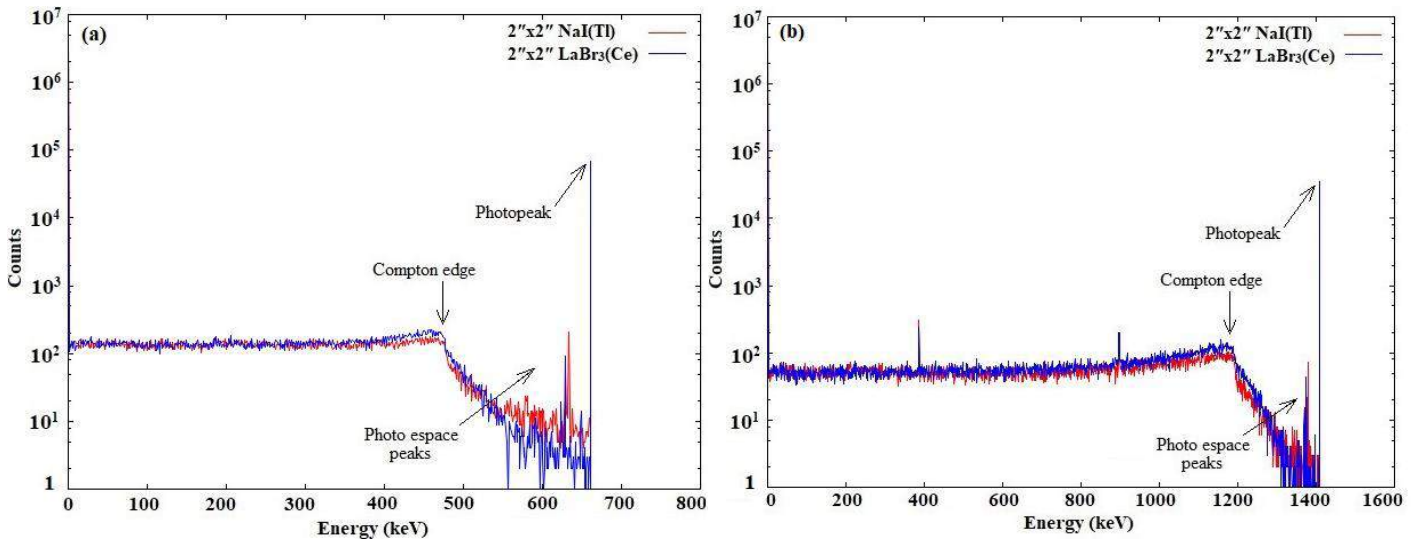


Figure 4. The pulse height distributions obtained by the FLUKA code for gamma sources of (a) 661.65 keV and (b) 1408.01 keV placed at 5 cm distance to the detector

The pulse height distributions obtained by the FLUKA code of 661.65 keV and 1408.01 keV energy sources in distances 2 cm and 5 cm from the detector surface for the detectors are presented in Figure 3(a) and 3(b) and Figure 4(a) and 4(b), respectively. These spectra were obtained without taking into account the effects of the detector electronics such as the energy resolution of the detector. As in Tables 3 and 4, the spectrums of Figures 3 and 4 show that the efficiency of the LaBr₃(Ce) detector is higher than the NaI(Tl) detector. In addition, it is observed that the full energy peak efficiency decreases with increasing distance between the source-detector. As a result of the interaction of the photon and the detector crystal in the spectra, the photopeak is seen at 661.65 keV and 1408.01 keV, that is, where the photon deposited all its energy. The Compton edge energy was theoretically calculated using equations 1 and 2 (Physics Courses Lecture Notes, 2014) for the Compton effect that occurs with the interaction of photon and detector crystal in the spectra.

$$E_T = E - E' \quad (1)$$

$$E_{Compton} = E_{T(max)} = \frac{2E^2}{m_e c^2 + 2E} \quad (2)$$

Where E, E' and E_T are respectively the energy of the incident photon, the outgoing photon and the Compton edge energy, and m_e is the mass of the electron and c is the speed of light. The Compton edge energies for 30.973 - 1408.01 keV energy range and for 2"x2" NaI(Tl) and LaBr₃(Ce) detectors were read from the output files of the simulations. The theoretically calculated Compton edge values were compared with the Compton edge values obtained with FLUKA code. The minimum and maximum RD(%) of the Compton edge results obtained by the two methods were found as 0.0098 - 10.44 % and 0.125 - 10.44 % for the distance of the detector-source 2 cm and 5 cm, respectively.

4. Conclusions and Recommendations

Efficiency calibration, one of the three calibration procedures, was determined by the FLUKA code for two different scintillation detectors. Firstly, these two detectors were modeled in the FLUKA code with the detector details given in Figure 1 and

2. Different detector - source distance and different source energies were used as simulation parameters for these two different scintillation detectors. The slight inconsistencies between the FLUKA values with the other methods may be due to the location between the source and detector, the detector modeling, failure to transfer of all information of the detector to the simulation environment. An error of less than 1% was obtained with respect to the primaries in the FLUKA simulation. Increasing the particle number will also reduce the statistical error. In this way, the RD(%) values of the results obtained with FLUKA can be further reduced. When the results in Tables 1 and 2 were evaluated, the FLUKA code results showed good agreement with the previously reported experimental, EGS code, and MCNP code results for the efficiency of each detector. In addition, it was observed that the Compton edge results obtained by the FLUKA simulation are compatible with the theoretical results.

References

Akkurt, I., Tekin, H.O., Mesbahi, A. (2015). Calculation of Detection Efficiency for the Gamma Detector using MCNPX. *ACTA PHYSICA POLONICA A*, Vol. 128 No. 2-B, 332-334. DOI: 10.12693/APhysPolA.128.B-332.

Baccouche, S., Al-Azmi, D., Karunakara, N., Trabelsi, A. (2012). Application of the Monte Carlo method for the efficiency calibration of CsI and NaI detectors for gamma-ray measurements from terrestrial samples. *Applied Radiation and Isotopes*, 70, 227-232. doi:10.1016/j.apradiso.2011.07.008.

Böhlen, T.T., Cerutti, F., Chin, M.P.W., Fassò, A., Ferrari, A., Ortega, P.G., Mairani, A., Sala, P.R., Smirnov, G., Vlachoudis, V. (2014). The FLUKA Code: Developments and Challenges for High Energy and Medical Applications. *Nuclear Data Sheets*, 120, 211-214.

Casnovas, R., Morant, J.J., Salvado, M. (2012). Energy and resolution calibration of NaI(Tl) and LaBr₃(Ce) scintillators and validation of an EGS5 Monte Carlo user code for efficiency calculations. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 675, 78-83. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2012.02.006>

- Ferrari, A., Sala, P.R., Fasso`, A., Ranft, J. (2005). FLUKA: a multi-particle transport code. CERN-2005-10, INFN/TC_05/11, SLAC-R-773.
- Hajheidari, M.T., Safari, M.J., Afarideh, H., Rouhi, H. (2016). Experimental validation of response function of a NaI(Tl) detector modeled with Monte Carlo codes. *Journal of Instrumentation (JINST)*, 1-6. doi:10.1088/1748-0221/11/06/P06011.
- Kuluöztürk Z.N, Demir N. (2019). Investigation of the Collimator Effect on the 3"x3" NaI(Tl) Detector System by the FLUKA code. *BEU Journal of Science & (Special Issue)*, 30-36.
- Mouhti, I., Elaniqu, A., Messous, M.Y., Belhorma, B., Benahmed A. (2018). Validation of a NaI(Tl) and LaBr₃(Ce) detector's models via measurements and Monte Carlo simulations. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 11, 335-339. <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2018.06.003>
- Physics Courses Lecture Notes (2014), Online Web site: on 24 June 2020, The University of Arizona: Retrieved from http://atlas.physics.arizona.edu/~shupe/Physics_Courses/Physics_586_S2015_S2016_S2017/LectureSupplements/ComptonEdge.pdf
- Salgado, C.M., Brandão, L.E.B., Schirru, R., Pereira, C.M.N.A., Conti, C.C. (2012). Validation of a NaI(Tl) detector's model developed with MCNP-X code. *Progress in Nuclear Energy*. 59, 19-25. doi:10.1016/j.pnucene.2012.03.006.
- Tam, H.D., Yen, N.T.H., Tran, L.B., Chuong, H.D., Thanh, T.T. (2017). Optimization of the Monte Carlo simulation model of NaI(Tl) detector by Geant4 code. *Applied Radiation and Isotopes*, 130, 75-79. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2017.09.020>
- Tarim, U.A., Gurler, O. (2018). Source-to-detector Distance Dependence of Efficiency and Energy Resolution of a 3"x3" NaI(Tl) Detector. *European Journal of Science and Technology No. 13, pp. 103-107. DOI: 10.31590/ejosat.443565*
- Tekin, H.O. (2016). MCNP-X Monte Carlo Code Application for Mass Attenuation Coefficients of Concrete at Different Energies by Modeling 3 × 3 Inch NaI(Tl) Detector and Comparison with XCOM and Monte Carlo Data. *Science and Technology of Nuclear Installations*, Volume 2016, 7 pages. <https://doi.org/10.1155/2016/6547318>
- Vlachoudis, V. (2009). FLAIR: A Powerful But User Friendly Graphical Interface for FLUKA. *Proc. Int. Conf. on Mathematics, Computational Methods & Reactor Physics (M&C 2009)*, Saratoga Springs, New York.



AMPK'nın Doğal Aktivatörleri ve Hastalıklarla İlişkisi

Sena Nur Tanyıldız¹, Hatice Yıldırım², Halime Uğur³, Mustafa Yaman^{4*}

¹ İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3107-3061, sena.tanyildiz@izu.edu.tr)

² İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5904-2430, hatice.yildirim@izu.edu.tr)

³ Kütahya Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Kütahya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2932-4215, halime.halimeugur@gmail.com)

^{4*} İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9692-0204, mustafa.yaman@izu.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 2 Temmuz 2020 ve Kabul Tarihi 25 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.762959)

ATIF/REFERENCE: Tanyıldız, S., Yıldırım, H., Uğur, H., & Yaman, M., (2021). AMPK'nın Doğal Aktivatörleri ve Hastalıklarla İlişkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 389-401.

Öz

AMP (Adenozin monofosfat) ile aktive edilen protein kinaz (AMPK), enerji üreten yolları aktive edip enerji tüketen yolları inaktive ederek enerji homeostazını sağlayan bir düzenleyicidir. AMPK, serin/treonin kinaz ailesine aittir ve yapısal olarak üç alt birimden (α , β ve γ) oluşmaktadır. Biri hücrel AMP seviyelerinde artış, diğeri LKB1 (serine–threonine kinase liver kinase B1), CaMKK β (Ca²⁺/calmodulin-dependent protein kinase β), TAK1 veya MLK3 ile α alt biriminin aktivasyon döngüsünde Thr172'nin fosforilasyonu yolu olmak üzere, AMPK iki mekanizma ile aktive edilebilmektedir. AMPK'nın aktivasyonu ile yağ asitleri, glikojen ve kolesterol sentezinin inhibasyonu sağlanırken; yağ asidi oksidasyonu, insüline bağımlı olmaksızın GLUT4 (glukoz taşıyıcı tip 4) translokasyonu ve otofaji işleminin aktivasyonu sağlanmaktadır. AMPK hastalıklar üzerine olan etkisini, çeşitli faktörler ile aktive olduktan sonra birçok metabolik ve fizyolojik yolağı düzenleyerek göstermektedir. AMPK aktivasyonunun artırılmasının prediyabet, diyabet, obezite ve kanser gibi çeşitli hastalıkların tedavisinde önemli bir rol oynadığı görülmüştür. AMPK aktivitesini etkileyen pek çok etken bulunmaktadır. Sentetik ilaçlar, doğal bileşenler ve egzersiz bu aktivatörler arasında yer almaktadır. Son yıllarda yapılan araştırmalar, özellikle bu ürünler arasında AMPK'nın aktivasyonunu etkileyen doğal bileşenlere odaklanmıştır. Bu derlemenin amacı berberin, resveratrol, kurkumin, ginseng vb. gibi doğal bileşenlerin AMPK aktivasyonu ve hastalıklar üzerine etkisini incelemektir.

Anahtar Kelimeler: AMPK, Aktivatör, Etki Mekanizması, Hastalık, Doğal Bileşenler.

AMPK's Natural Activators and Relationships with Diseases

Abstract

Protein kinase (AMPK) activated by AMP (Adenosine monophosphate) is a regulator that provides energy homeostasis by activating energy-producing pathways and inactivating energy-consuming pathways. AMPK belongs to the serine / threonine kinase family and consists of three subunits (α , β and γ) structurally. AMPK can be activated with two mechanisms, one of which is an increase in cellular AMP levels, the other is LKB1 (serine – threonine kinase liver kinase B1), CaMKK β (Ca²⁺ / calmodulin-dependent protein kinase β), TAK1 or MLK3 and phosphorylation of Thr172 in the activation cycle of the α subunit. While activation of AMPK provides inhibition of fatty acids, glycogen and cholesterol synthesis; fatty acid oxidation, GLUT4 (glucose transporter type 4) translocation without being dependent on insulin and activation of the autophagy process are provided. AMPK shows its effect on diseases by regulating many metabolic and physiological pathways, after activation with various factors. It has been observed that increasing AMPK activation plays an important role in the treatment of various diseases such as prediabetes, diabetes, obesity and cancer. There are many factors that affect AMPK activity. Synthetic drugs, natural components and exercise are among these activators. Research in recent years has focused especially on natural components that affect the activation of AMPK among these products. The purpose of this review is to examine the effect on AMPK activation and diseases, of natural components such as berberine, resveratrol, curcumin, ginseng, etc.

Keywords: AMPK, Activator, Mechanism of Action, Disease, Natural Components.

* Sorumlu Yazar: mustafa.yaman@izu.edu.tr, İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9692-0204)

1. Giriş

AMPK; yağ asidi sentezinde yer alan iki temel enzim olan Asetil-CoA karboksilaz ve 3-Hidroksi-3-Metilglutaril CoA redüktazı, fosforile ve inaktive eden bir protein kinaz olarak keşfedilmiştir (Carlson ve Kim, 1973; Beg, Allmann ve Gibson, 1973). 1987'de bu işlevlerin AMP ve farklı bir yukarı akış kinazı tarafından fosforilasyonla aktive edilen tek bir protein kinazın fonksiyonları olduğu bulunmuş ve AMPK olarak adlandırılmıştır (Carling, Zammit ve Hardie, 1987; Hardie, Carling ve Sim, 1989). AMPK hücrel büyüme, otofaji, enflamasyon, diyabet, yaşlanma, kanser ve metabolizma gibi çeşitli biyolojik süreçleri kontrol edebilmektedir (Faubert, 2015; Jeon, 2016). Çeşitli farmakolojik ilaçlar, egzersiz ve doğal bileşenler AMPK'yı aktive edebilme yeteneğine sahiptir. Bu derlemede AMPK'nın yapısı, metabolizmadaki rolü, doğal aktivatörleri ve bu aktivatörlerin AMPK üzerine etki mekanizmasına değinilmiştir.

2. AMPK'nın Yapısı ve Metabolizmadaki Rolü

AMPK enerji homeostazı ile adenozin trifosfat (ATP) üretim ve tüketiminin düzenlenmesinde rol oynayan serin treonin kinaz ailesine ait olan bir protein kinazdır (Krishan, 2015; Hardie, 2007). AMPK temel olarak bir katalitik alt birim (AMPK α) ve iki düzenleyici alt birimden (AMPK β ve γ) oluşmuştur. Hücrel AMP seviyelerinde artış ve Thr172'nin fosforilasyonu yoluyla AMPK aktive edilebilmektedir (Woods, 2003; Hurley, 2005; Momcilovic, 2006; Luo, 2015; Kışmıroğlu ve ark., 2020). Glikoz ve lipitler, hücrelerde enerji temini için ana kaynaklardır. AMPK, glikoz ve lipitlerin metabolik ve fizyolojik süreçlerinin düzenlenmesinde rol almakta; glikoz, yağ asitleri, kolesterol ve trigliseritlerin yıkımlarını teşvik edip, sentezlerini ve depolanmalarını engelleyerek ATP seviyelerini arttırmaktadır (Hardie, 2013; Wu ve ark, 2013). Asetil-CoA karboksilaz 1 ve Asetil-CoA karboksilaz 2'nin doğrudan fosforilasyonu yoluyla yağ asidi sentezini baskılayarak, lokal olarak üretilen malonil-CoA tarafından yağ asidi oksidasyonunu hafifleterek ve eş zamanlı olarak yağ asidi oksidasyonunu da teşvik etmesiyle genel hücrel lipit metabolizmasını kontrol etmektedir (Ahmadian ve ark, 2011; Kim ve ark, 2016). AMPK, hücre büyümesi için gerekli diğer iki ana biyosentetik yol olan protein ve rRNA sentezini inhibe etmektedir (Grahame, 2014). Bunu bir serin/ treonin kinaz olan rapamisini (mTOR) inhibe ederek yapmakta ve böylece protein sentezi durmaktadır (Hoppe, 2009). Ek olarak birçok çalışma, AMPK'nın enflamasyon, diyabet, yaşlanma ve kanser gibi birçok patolojik durumda inhibe edildiğini ve AMPK'nın aktivasyonunun bu tür hastalıkları tedavi etmek için yararlı olabileceğini göstermektedir. AMPK yağ asitleri metabolizmasının modülasyonu yoluyla enflamasyonu baskılayarak antienflamatuar etki gösterdiğinden, hem diyabetin hem de kanserin önlenmesinde faydalı olabileceği düşünülmektedir (Jeon, 2016).

3. AMPK'nın Doğal Aktivatörleri

AMPK'yı aktive eden sayıları yüzü aşan pek çok doğal bileşen bulunmakta ve çoğunluğu polifenoller sınıfında yer alsa da yapıları çok çeşitli olabilmektedir. Aktivatörlerden bazıları ya solunum zincirinin Kompleks I'ini ya da ATP sentezini (Kompleks V) inhibe ederek AMPK'yı aktive etse de, büyük çoğunluğunun etki mekanizması hala aydınlatılamamıştır (Hardie, 2016). Bu

doğal bileşenlerden berberin, resveratrol, kuersetin, salisilat, kurkumin, prosiyanidin, ginseng, epigallokateşin-3-gallat, gingerol, rooibos, tekli doymamış yağ asidi (MUFA) ve Alfa-lipoik asit (ALA), AMPK ile ilişkisi hakkında en çok bilgi sahibi olunanlardan bazılarıdır (Tablo 1).

3.1. Berberin

Berberin, diyare durumunda geleneksel Çin tıbbında uzun yıllardır kullanılan, Berberis cinsinin türlerinin saflaştırılmasıyla elde edilen doğal bir bileşendir (Chen ve ark, 2014). Berberin; B. aristata (Potdar, Hirwani ve Dhulap, 2012; Amritpal ve ark, 2010), B. darwinii (Habtemariam, 2011; Habtemariam, 2013), B. Petiolaris (Singh ve ark, 2015) ve B. vulgaris (Suau ve ark, 1998) dahil Berberis türlerinin saplarından ve köklerinden izole edilen doğal kaynaklı bir alkaloiddir. Berberinin antibakteriyel (Jamshaid, Dai ve Yang, 2020), antienflamatuar (Habtemariam, 2016), antidiyabetik (Liang ve ark, 2019) ve antiobezite (Tabeshpour, Imenshahidi ve Hosseinzadeh, 2017) gibi çeşitli farmakolojik özellikleri bulunmaktadır. Berberin ile yapılan birçok çalışmada hiperglisemiyi iyileştirmede metformin ile benzer etkilere sahip olduğu, ancak hiperlipidemiyi azaltmada daha yararlı olduğu gösterilmiştir (Dong ve ark, 2012; Wang ve ark, 2018; Imenshahidi ve Hosseinzadeh, 2019). Ayrıca berberinin AMPK'yı aktive ederek, insülin direnci varlığında yüksek aktiviteye sahip olan mTOR yolunu inhibe ettiği de saptanmıştır (Cheng ve ark, 2006; Yin ve ark, 2002; Turner ve ark, 2008; Lee ve ark, 2006a; Gwinn ve ark, 2008). Fareler ile yapılan bir çalışmada berberin tedavisi; 3T3-L1 adipositlerinde ve L6 miyotüplerinde AMPK aktivitesinde artışa, fosfatidilinositol 3' kinaza bağımlı olmaksızın L6 hücrelerinde GLUT4 translokasyonunun artmasına ve 3T3-L1 adipositlerinde lipit birikiminin azalmasına neden olmuştur. Bu bulgular berberinin AMPK'yı uyarması sonucu diyabet ve obezite tedavisinde yararlı etkileri olabileceğini göstermiştir (Lee ve ark, 2006a). Fareler üzerine yapılan bir diğer çalışmada berberinin AMPK'yı aktive ettiği, AMPK'nin bir alt hedefi olan mTOR'u inhibe ettiği, LKB1 aktivitesini ise etkilemediği bulunmuştur. Sonuç olarak berberinin, mTOR aktivitesinin AMPK'ya bağlı inhibisyon etkisi ile kolon epitelyum proliferasyonunu ve tümör oluşumunu baskıladığı gösterilmiştir (Li ve ark, 2015).

3.2. Resveratrol

Resveratrol, yoğun güneş ışığı ve ultraviyole radyasyon gibi çeşitli uyaranlar altında pek çok bitki tarafından doğal olarak üretilen antioksidan özellikte bir polifenol bileşiğidir (Aggarwal ve ark, 2004). Resveratrol yaban mersini, üzüm ve yer fıstığı gibi birçok besinde doğal olarak bulunur (Weiskirchen ve Weiskirchen, 2016). Yapılan çalışmalarda resveratrolün, kardiyovasküler hastalıklar ve kanser gibi çeşitli hastalıkların önlenmesinde yararı olduğu gösterilmiştir (Lin ve ark, 2014; Zamora-Ros ve ark, 2012). Resveratrolün kanser üzerine etkisi ile ilgili yapılan ilk incelemelerden birinde, resveratrolün tümör oluşumu ve ilerlemesi ile ilişkili hücrel olayları inhibe etme yeteneğine sahip olduğu bildirilmiştir (Jang ve ark, 1997). Resveratrol ve AMPK ilişkisi üzerine Gwinn ve ark. (2008) tarafından yapılan çalışmada resveratrolün endojen AMPK'yı aktive ederek mTORC1 aktivitesini baskılayabildiği saptanmıştır. Ayrıca Park ve ark. (2016) resveratrolün mTOR'u doğrudan inhibe edebildiğini gösterdikleri çalışmada, resveratrolün mTOR bağımlı otofajiyi indüklemeye ve kanser hücrelerinin canlılığını azaltma yeteneğine sahip olduğunu da bulmuşlardır. AMPK

aktivatörü olarak resveratrolün kullanıldığı bir diğer çalışmada, AMPK aktivasyonunun; oksidatif stres ile ilişkili hipertansiyon sırasında rostral ventrolateral medulladaki Racl kaynaklı NADPH oksidaz seviyelerini negatif olarak düzenleyerek kan basıncını azalttığı, reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretimini durdurduğu ve hücre dışı sinyal ayarlı kinazlar 1 ve 2 (ERK1 / 2) -ribozomal protein S6 kinaz (RSK)- nöronal nitrik oksit sentaz (nNOS) yolu aktivitesini artırdığı bulunmuştur (Cheng ve ark, 2016). Bunun yanı sıra resveratrol tedavisi ile kantitatif gerçek zamanlı polimeraz zincir reaksiyonu (qRT-PCR) analizi yoluyla, TNF- α ile indüklenen matris metaloproteinaz-3 (MMP-3) ekspresyonunun inhibasyonu sağlanmıştır. Ayrıca resveratrol, sirtuin-1 (SIRT1) ekspresyonunu artırmış ve SIRT1 yıkımı insan çekirdeği pulposus hücrelerinde resveratrolün neden olduğu otofajiyi önemli ölçüde bastırmıştır. Resveratrolün AMPK'yı aktiveleştirirken, AMPK'nın inhibisyonunun resveratrolün neden olduğu SIRT1 ekspresyonunu belirgin bir şekilde ortadan kaldırdığı da görülmüştür. Çalışmada elde edilen veriler, resveratrolün insan çekirdeği pulposus hücrelerinde TNF- α ile indüklenen MMP-3 ekspresyonunun, AMPK / SIRT1 sinyal yolu aracılığıyla otofajiyi aktive ederek zayıflattığını göstermiştir (Wang ve ark, 2016). Literatürde yer alan diğer bir çalışmada, sığır retinal kapiller endotel hücrelerindeki yüksek glikozun, hücre içinde ROS ve bölünmüş kaspaz-3'ün eşlik ettiği hücre apoptoza neden olduğu görülürken, glikoza bağlı apoptoz ve ROS yükselmesinin her ikisinin de resveratrol tarafından inhibe edildiği saptanmıştır. Ayrıca yüksek glikozun, artmış SIRT1 ve PGC-la seviyelerinin eşlik ettiği fosforile AMPK seviyelerini düşürdüğü bulunmuş ve bu değişikliklerin resveratrol tarafından tersine çevrildiği gösterilmiştir (Li ve ark, 2017).

3.3. Kuersetin

Kuersetin fındık, çay, sebze gibi günlük olarak tüketilen besinlerde yaygın olarak bulunan polifenol bir bileşiktir (Metodiewa ve ark, 1999). Kuersetinin antioksidan, antidiyabetik, antienflamatuar ve antiproliferatif gibi çok çeşitli sağlık yararları olduğu bilinmektedir (Bischoff, 2008; Boots, Haenen ve Bast, 2008; Hirpara ve ark, 2009). Yapılan çalışmalarda kuersetinin birçok kanser türüne karşı önleyici etkileri olduğu saptanmıştır (Choi ve ark, 2001; Kuo, Liu ve Chao, 2004; Ong ve ark, 2004; Sharmila ve ark, 2014). Kuersetin, luteolin ve epigallocateşin gallatın AMPK fosforilasyonunun pozitif regülasyonu ile glikoz tüketimini arttırdığı bulunmuştur. Bu konu üzerine yapılan bir çalışmada, kuersetin, luteolin ve epigallocateşin gallatın AMPK ve/veya SIRT1'in düzenlenmesi ile adipositlerde iltihabı inhibe ettiği ve glikozun atılmasını desteklediği ortaya konmuştur (Xiao ve ark, 2014). Kim ve ark. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada kuersetin, AMPK'nın aktivasyonu yoluyla apoptozu indüklemiş ve oksidatif stres kaynaklı vasküler düz kas hücresi yaşlanmasının hafifletilmesini sağlamıştır.

3.4. Salisilat

Söğüt ağacı kabuğunun tedavi edici etkileri Hipokrat zamanından beri bilinmekle birlikte, aktif bileşeni antienflamatuar etki gösteren bitkiler tarafından üretilen bir hormon olan salisilatır (Reymond ve Farmer, 1998). Asetilsalisilik asit (Aspirin), yaygın olarak kullanılan türevlerinden biridir (Warner ve ark, 1999). Aspirin yutulduktan sonra hızla salisilata dönüştürülmekte ve dünyada en çok reçete edilen ilaç grubu arasında yer almaktadır. Salisilat grubu ilaçlar genellikle ağrıları dindirmek, ateşi düşürmek ve kanın çökme hızını normale döndürmek için kullanılmaktadırlar (Ross, 2012;

Schrör, 2016). Bununla birlikte aspirin ve salisilat, I κ B kinaz β 'yi (IKK β) inhibe ederek enflamatuar belirteç olan nükleer faktör-kB (NF- κ B) aktivitesini inhibe eder. Ayrıca antienflamatuar bir ilaç olan salisilat, tip 2 diyabet ve insülin direnci ile ilgili metabolik bozukluklar için güçlü bir proenflamatuar bileşen olan NF- κ B yoluyla etki göstermektedir (Shirakawa ve ark, 2016). Salisilatın insanlardaki yararlı etkilerinden bazıları AMPK'nın özellikle metabolik, antitümörjenik ve antienflamatuar etkilerini aktive etme özelliğinden kaynaklanabilmektedir (Ford ve ark, 2015). Karaciğerde gerçekleşen AMPK aktivasyonunun lipid birikimini azaltması beklenmektedir. Bu görüşe uygun olarak, çok sayıda AMPK aktive edici bileşenin karaciğer yağlanması tedavisi için faydalı etkileri olduğu bildirilmiştir (Smith ve ark, 2016; Violet ve ark, 2009). Salisilatın, mitokondriyal ayrılma yoluyla karaciğer lipid seviyelerini AMPK- β 1'den bağımsız olarak düşürdüğü görülmüştür (Smith ve ark, 2016). Yapılan bir çalışmada salisilatın, AMPK ile sinyallerde değişiklik yapmayacağı araştırılmış ve salisilatın kültürlenmiş hücrelerde AMPK'yı aktive ettiği saptanmıştır. Bunun sonucunda salisilatın, mitokondriyal ATP sentezi üzerindeki etkilerinden bağımsız olarak oluşan AMPK α -alt birimi ve AMPK hedef moleküllerinin fosforilasyonuna neden olduğu bulunmuştur (Hawley ve ark, 2012). Farelerde yapılan bir çalışmada, salisilat uygulamasının yabani tip farelerin hepatositlerinde, adipositlerinde ve kas hücrelerinde AMPK'yı aktive ettiği görülmüştür. Salisilatın, yağ kullanımını ve yüksek yağlı diyetlerle obez hale getirilen yabani tip farelerde insülin duyarlılığını arttırdığı sonucuna varılmıştır (Ross, 2012). Ayrıca Ford ve ark. (2015) tarafından yapılan bir çalışmada, metformin ve salisilat kullanımıyla yapılan tedavinin karaciğer AMPK aktivitesini artırdığı, lipogenezi azalttığı ve insülin duyarlılığında iyileşme oluşturduğu gözlemlenmiştir.

3.5. Kurkumin

Asya ülkelerinde yaygın bir şekilde kullanılmakta olan zerdeçal (Curcuma longa) bitkisinden ekstrakte edilen sarı renkli bir polifenoldür (Payton, Sandusky ve Alworth, 2007). Kurkumin geleneksel tıp başta olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadır. Kurkumin üzerine son yıllarda çok sayıda bilimsel çalışma yapılmış ve antioksidan, antienflamatuar, antiproliferatif, antianjiyogenik, antimikrobiyal özelliklere sahip olduğu bildirilmiştir (Yalçın ve ark, 2017). Ayrıca kurkuminin diyabet ve diyabetin beraberinde getirdiği komplikasyonlarda tedavi amacıyla kullanılabileceği de belirtilmektedir (Zhang ve ark, 2013). Obezite ve tip 2 diyabet NF- κ B aktivasyonuna bağlı olarak kronik enflamasyon ile ilişkili bulunmuştur. İlk kez 1995 yılında Singh ve Aggarwal (1995) tarafından kurkuminin antienflamatuar aktivitesi tanımlanmış ve etkisini NF- κ B aktivasyonunu baskılayarak sağladığı gösterilmiştir. Ayrıca kurkumin, iskelet kasında glikoz alımı ve hepatik yağ asidi oksidasyonu gibi belirli hücre içi yolların düzenleyici proteinleri olan NF- κ B, SIRT1 ve AMPK'nın dahil olduğu diğer metabolik yolların aktivitesini de regüle etmektedir. Kurkuminin; 3T3-L1 adiposit hücre kültürü sistemlerinde, AMPK'nın fosforilasyonunu indükleyip AMPK aktivitesini artırarak, adipositlerdeki lipid metabolizmasını etkilediği görülmüştür. Bu durum kurkuminin obeziteyi önlemede potansiyel bir yararının olabileceğini düşündürmektedir (Ejaz ve ark, 2009). Yapılan bir çalışmada kurkuminin AMPK ve PPAR γ ekspresyonunu arttırdığı ve deney farelerinde NF- κ B protein seviyesini düşürdüğü, ancak SIRT1 ekspresyonunu değiştirmedeği bildirilmiştir. Çalışmada kurkuminin AMPK, PPAR γ ve NF- κ B ekspresyonunun düzenlenmesi yoluyla diyabetik komplikasyonların tedavisi için yararlı bir etkisinin olduğu saptanmıştır (Jiménez-Flores ve ark,

2014). Yapılan bir klinik çalışmada ise 9 ay boyunca prediyabetik hastalara kurkumin verilmiş (1500 mg/gün), sonuç olarak kurkumin tedavisinin hücrelerin genel fonksiyonunu iyileştirdiği ve prediyabetik hasta sayısını azalttığı görülmüştür (Chuengsamarn ve ark, 2012).

3.6. Prosiyanidin

Prosiyanidinler, epikateşin ve kateşin birimlerinden oluşan flavan-3-olları oligomerleri ve polimerleridir (Beecher, 2004). Prosiyanidinler ve antosiyanidinler, en çok çalışılan polifenol bileşikler arasında yer almaktadır (Valls ve ark, 2009). Antosiyanidinler daha çok üzüm, yabanmersini, kıvılcık veya kiraz gibi meyvelerde bulunurken, prosiyanidinler kakao, çikolata, şarap, çay ve elma gibi besinlerde doğal olarak bulunmaktadır (Bravo, 1998). Üzüm çekirdeğindeki prosiyanidin, serbest radikalleri uzaklaştırma gibi çeşitli terapötik etkilerinin yanında antiülser, antialerji ve antitümör gibi önemli özellikleri de bulunmaktadır (Bagchi ve ark, 1997; Terra ve ark, 2009). Prosiyanidinler, ortamda bulunan serbest radikallerle reaksiyona girerek yağ asitlerinin oksidasyonunu önlemekle birlikte, metallerin katalize ettiği lipid oksidasyonunu da baskılamaktadır (Güzel, 2010). İki hafta boyunca yüksek yağlı diyet (toplam kalorisinin %40'ı) ile beslenme sonrası, üzüm çekirdeği prosiyanidinleri verilen tip 2 diyabetli sıçanlarda, HDL seviyesi artarken trigliserit ve LDL seviyelerinin düştüğü, kan şekeri seviyesi üzerinde ise olumlu bir etki görüldüğü saptanmıştır (Wu ve ark, 2015). Bir başka çalışmada yüksek yağlı diyet ile beslenen farelere 13 hafta boyunca kakao likör prosiyanidini verildiğinde, farelerde hiperglisemi, glikoz intoleransı ve kilo alımının baskılandığı, ayrıca kakao likör prosiyanidininin AMPK'yı aktive ederek GLUT4 translokasyonunu artırdığı görülmüştür (Yagasaki, 2014). Yang ve ark. (2015) tarafından yapılan bir çalışmada ise prosiyanidin B2'nin (100 mg / kg) 7 gün boyunca farelere uygulanması sonucunda hepatik hasara karşı koruyucu etkisinin olduğu bulunmuştur. AMPK sinyal yolları, kastaki GLUT4 translokasyonunun ana düzenleyicisidir ve yapılan birkaç çalışmada polifenollerin periferik dokularda bu sinyal yollarını aktive ederek GLUT4 translokasyonunu desteklediği saptanmıştır (Sheena ve ark, 2011; Minakawa ve ark, 2011; Claussnitzer ve ark, 2011). Kakaoda yüksek miktarda bulunan prosiyanidin, AMPK'nın aktivasyonu yoluyla GLUT4 translokasyonunu artırdığı bildirilmiştir (Yamashita ve ark, 2012; Yamashita ve ark, 2012). Fareler üzerinde yapılan bir başka çalışmada ise monomerik ve oligomerik prosiyanidinlerin oral yoldan verilmesinin, fare iskelet kasında insülin ve AMPK sinyal yollarını aktive ettiği ve GLUT4 translokasyonunu artırdığı görülmüştür (Yamashita ve ark, 2016).

3.7. Ginseng

Panax ginseng, Çin'de önemli bir tıbbi bitki olarak gastrointestinal ve kardiyovasküler hastalıkların tedavisi amacıyla kullanılmaktadır (Bai ve ark, 2018). Ginsengin; antiaging, antistres, antitümör, antienflamatuar ve antidiyabetik gibi çeşitli fizyolojik etkilere sahip olduğu bilinmektedir (CHOI, 2008). Ginsengin ana aktif maddesi ginsenosidlerdir ve ginseng etkinliğinin çeşitliliği ginsenosidlerin yapısal farklılıklarından kaynaklanmaktadır (Attele, Wu ve Yuan, 1999; CHOI, 2008). Panax ginsengde Rb1, Rb2, Rc, Rd, Re, Rg1 ana ginsenosidlerinin de içinde bulunduğu yüzün üzerinde ginsenosid bildirilmiştir (Atta-ur-Rahman, 2018). Yapılan çalışmalarda ginsenosid Rg3'ün, AMPK'nın aktivasyonu ve PPAR γ

transkripsiyonel aktivitesinin inhibisyonu yoluyla adiposit farklılaşmasını inhibe ettiği (Hwang ve ark, 2009), ginsenosid Rh2'nin adipositlerde AMPK'yı aktive ederek antiobezite etkilere sahip olduğu bildirilmiştir (Hwang ve ark, 2007). Fareler ile yapılan bir çalışmada ginsenosid Rb2'nin SIRT1'in indüksiyonu ve AMPK'nın aktivasyonu yoluyla otofajiyi düzelterek hepatik lipid birikimini hafiflettiği ve glikoz toleransını arttırdığı sonucuna varılmıştır (Huang ve ark, 2017). Siyah ginseng etanol ekstresinin (GBG05-FF) antidiyabetik etkilerini araştırmak amacıyla yapılan bir diğer çalışmada ise diyabete bağlı HbA1c, trigliserit ve toplam kolesterol seviyeleri gibi ana plazma parametrelerinin azaldığı bulunmuştur. Ayrıca GBG05-FF, karaciğerdeki AMPK'nin fosforilasyonunu arttırmış ve GLUT2 ile GLUT4 ekspresyonunu upregüle ettiği görülmüştür (Kang ve ark, 2017). Kore kırmızı ginseng ekstresinin (RGE) etkileri ile ilgili yapılan bir çalışmada RGE'nin hücreleri, araşidonik asit+demir kaynaklı ROS üretiminden ve AMPK'yı aktive ederek mitokondriyal bozulmadan koruyabildiği saptanmıştır (Dong ve ark, 2013). Bir başka çalışma ise, ginsenosid Rg3'ün miyokard enfarktüsü sırasında AMPK aracılı otofaji yoluyla miyokard hasarını iyileştirebileceğini düşündürmektedir (Sun ve ark, 2020). Ayrıca, ginsenosid Rb2'nin AMPK'nın bir aktivatörü olduğu ve H4IIE hepatositlerinde palmitatın neden olduğu glukoneogenezin inhibe edebildiği görülmüştür (Lee ve ark, 2011).

3.8. Epigallokateşin-3-gallat

Yeşil çay, kateşinlerin ağırlıkta olduğu birçok polifenol içermektedir. İçeriğinde en fazla bulunan kateşin olan, epigallokateşin-3-gallat olarak da bilinen epigallokateşin gallat (EGCG), yeşil çayın terapötik etkilerinin birçoğu ile ilişkili görülmektedir. EGCG'nin terapötik etkileri antioksidatif, antienflamatuar ve antikanserijen olması ile ilgilidir (Chowdhury ve ark, 2016). Literatürdeki mevcut çalışmalarda yeşil çay ekstraktı, çay polifenoller ve EGCG'nin, kemirgenlerde veya hücre kültürlerinde hepatik AMPK'yı aktive edebildiği bildirilmiştir (Banerjee, Ghoshal ve Porter, 2012; Huang ve Lin, 2012; Murase ve ark, 2009). EGCG, AMPK'yı aktive ederek kanser hücresinin büyümesini inhibe edebilmekte ve böylelikle antioksidan ve antikanser özellik gösterebilmektedir (Kanwar ve ark, 2012; Landis-Piwowar ve ark, 2013; Hwang ve ark, 2007). Ayrıca EGCG'nin, AMPK aktivasyonunun etkilerinin artmasına ve apoptozun indüklenmesine neden olan miRNA'ları (mir-221) düzenlediği de gösterilmiştir (Landis-Piwowar ve ark, 2007; Jochmann, Baumann ve Stangl, 2008). Huang ve ark. (2009) EGCG'nin AMPK aktivitesini doza bağlı bir şekilde düzenlediğini ve hepatom hücrelerinde mTOR yolunun inhibe olduğunu saptamışlardır. Ayrıca yapılan bir çalışma EGCG'nin, mTOR'un ATP-rekabetçi bir inhibitörü olduğunu göstermiştir (Van Aller ve ark, 2011). Kim ve ark. (2013) EGCG'nin AMPK aracılı bir mekanizma yoluyla otofajiyi geliştirdiğini ileri sürmüşlerdir. EGCG, hem AMPK'yı hem de ULK1'i uyarırken, mTOR'u etkilememiş böylelikle polifenolün neden olduğu otofajinin mTOR yolundan bağımsız olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak; EGCG'nin AMPK üzerinde bir güçlendirici olarak hareket ettiği görülmekte iken, mTOR yolu üzerindeki etkisi tam olarak anlaşılamamıştır. EGCG'nin vücut ağırlığının azaltılmasında AMPK üzerinden etki eden rolünü belirlemek için yapılan bir çalışmada EGCG'nin, farelerde obezite ve epididimal beyaz yağ dokusu ağırlığını kısmen AMPK aktivasyonu yoluyla azaltabileceği sonucuna varılmıştır (Li ve ark, 2018). Banerjee ve ark. (2012) tek bir yeşil çay ekstresi dozunun karaciğer AMPK seviyesini ve LKB1'in fosforilasyonunu arttırdığını bildirmişlerdir. Benzer biyoaktif bileşiklerle yapılan çalışmalar,

EGCG'nin esterleşmemiş yağ asidi seviyesindeki artıştan kaynaklanan periferik insülin direncini önleyebileceğini ve bu koruyucu etkinin oksidatif stresin inhibisyonu ve AMPK sinyalinin aktivasyonu ile ilişkili olabileceğini düşündürmektedir (Davaatseren ve ark, 2013; Shen ve ark, 2013; Timmers ve ark, 2011; Zang ve ark, 2006; Kobayashi-Hattori ve ark, 2005; Kurimoto ve ark, 2013).

3.9. *Aspalathus Linearis* (Rooibos)

Aspalathus linearis, Güney Afrika'da Cederberg Dağları'nın sınırlı bir bölgesinde kendiliğinden yetişen çeşitli ekotipleri bulunan bir bitki türüdür (Benedec ve ark, 2017; Hawkins, Malgas ve Biénabe, 2011). *Aspalathus linearis* bitkisinin coğrafi izolasyon, farklı adaptasyon ve mutasyonlar nedeniyle gelişen en az sekiz farklı ekotipi bulunmaktadır (Hawkins, Malgas ve Biénabe, 2011; Malgas ve ark, 2010; Van ve ark, 2017). *Aspalathus linearis* (Rooibos) bitkisi küresel açıdan daha çok çay olarak tüketilmektedir (Smith ve Swart, 2018). Az miktarda tanen içermekte ve birçok çayın aksine kafein içermemektedir (Benedec ve ark, 2017). Fermantasyon sırasında, bileşen polifenollerin oksidasyonu ile rengi yeşilden kırmızıya doğru değişmekte ve bu nedenle rooibos çayı genellikle kırmızı çay veya kırmızı çalı çayı olarak adlandırılmaktadır (McKay, 2007). Fermentasyon işlemi sonunda elde edilen kırmızı rooibos çayının yanı sıra fermentasyon işlemine uğramayan yeşil rooibos çayı da tüketilmektedir (Hawkins, Malgas ve Biénabe, 2011). In vitro ve in vivo olarak yapılan çalışmalarda rooibos çayının insülin direncini iyileştirmesinin yanı sıra anti diyabetik, antiobezite ve antiinflamatuvar etkiler gösterdiği sonucuna varılmıştır (Mazibuko-Mbeje ve ark, 2019). Rooibosun yararlı etkileri, içeriğinde bulunan polifenolik bileşiklerden kaynaklanmaktadır (Joubert ve de Beer, 2011). Rooibosta bol miktarda bir C-glukozil dihidrokallonon olan aspalathin bulunmaktadır (Johnson ve ark, 2018). Yapılan bir çalışmada aspalathin ile zenginleştirilmiş yeşil rooibos özütünün, fosfotidilinozitol 3 kinaz (PI3K) / AKT ve AMPK dahil olmak üzere enerji metabolizması ve insülin sinyallerinin iletilmesinde yer alan anahtar genleri modüle ederek, C2C12 kasında ve 3T3-L1 hücrelerinde insülin direncini iyileştirebileceği görülmüştür (Mazibuko ve ark, 2013; Mazibuko ve ark, 2015). Bunun yanı sıra bir başka çalışmada aspalathin ile zenginleştirilmiş yeşil rooibos özütünün, insüline direnç durumunda karaciğer fonksiyonunun iyileştirilmesinde orta derecede etki gösterdiği saptanmıştır (Mazibuko-Mbeje ve ark, 2019). Kan glikozu ve lipit düşürücü özelliklere sahip bir C-glukozil dihidrokallonon olan aspalathin (Johnson ve ark, 2017; Kawano ve ark, 2009; Muller ve ark, 2012; Son ve ark, 2013), yağ dokusunda substrat metabolizması ile iskelet ve kalp kasını iyileştirmek için hem PI3K / AKT hem de AMPK yollarını modüle edebilmektedir (Mazibuko ve ark, 2015; Son ve ark, 2013; Johnson ve ark, 2016).

3.10. Gingerol

Zingiber officinale Roscoe (Zingiberaceae), genellikle zencefil olarak bilinmekle birlikte tropik Asya'ya özgü bir bitkidir. Bitkinin rizomlarının güçlü bir aroması olup, genellikle baharat ve ilaç olarak kullanılmaktadır (Elzebroek ve Wind, 2008). Zencefil, gingeroller gibi çeşitli biyoaktif bileşikleri bulunduran nutrasötik değeri ile bilinmektedir (Butt ve Sultan, 2011). Gingeroller, dallanmamış alkil zincirleri uzunluklarında farklılık gösteren ve esas olarak zencefile özgü keskinliği sağlayan homolog bir fenol serisidir (Govindarajan ve Connell, 1983). Gingeroller uçucu olmayan keskin bileşiklerdir (Jolad ve ark,

2004). Antikanser, antioksidan, antimikrobiyal, antiinflamatuvar ve antialerjik özelliklerinin yanı sıra merkezi sinir sistemi aktivitelerine kadar vücuda birçok yararı bulunmaktadır (Semwal ve ark, 2015). Zencefil, SIRT1 / AMPK / PGC-la yollarının aktivasyonu yoluyla termogenezi, mitokondriyal biyogenezi, kahverengi yağ dokusu fonksiyonunu ve aktif beyaz yağ dokusu kahverengileşmesini artırmaktadır (Wang ve ark, 2019; Deng ve ark, 2019; Kim ve ark, 2018). Farelerde yapılan bir çalışmada zencefilin aktif bileşeni olan 6-gingerolün AMPK / PGC-la sinyal yolunun aktivasyonu yoluyla mitokondriyal biyogenezi ve mitokondriyal fonksiyonu desteklediği tespit edilmiştir (Deng ve ark, 2019). PGC-la iskelet kası, kalp ve kahverengi yağ dokusu gibi aktif oksidatif metabolizması olan dokularda yüksek düzeyde ekspresyon edilmekte ve mitokondriyal biyogenezin düzenlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Kahn ve ark, 2005). Yüksek yağlı ve karbonhidratlı diyetle beslenen sıçanlarla yapılan bir çalışmada, zencefil ekstresinin iskelet kasındaki AMPK α fosforilasyonunu ve toplam AMPK α 'yı arttırdığı ve enerji harcamasının artmasına neden olduğu görülmüştür (Li ve ark, 2014). Yapılan bir başka çalışmada ise yüksek yağlı diyetle beslenen sıçanlarda 6-gingerol tedavisinin, AMPK / NF- κ B yolunu hedefleyerek inflamatuvar durumu ve metabolik bozuklukları iyileştirdiği bildirilmiştir (Hashem ve ark, 2017).

3.11. MUFA

Yağ asitlerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri ile beslenmedeki rolleri; moleküldeki karbon atomu sayısı, karbon atomları arası çift bağ olup olmadığı, karbon atomları arası çift bağ sayısı ve karbon atomlarına bağlı hidrojenlerin pozisyonu ile belirlenmektedir (Kayahan, 2009; Olcay ve ark, 2012; Baysal, 2004). Yağ asitlerinden tekli doymamış olanlar, kimyasal olarak tek bir çift bağ içeren yağ asitleri olarak sınıflandırılmaktadır. Günlük beslenmede en yaygın tekli doymamış yağ asidi, oleik asittir ve MUFA'nın yaklaşık %90'unu oluşturmaktadır (Kris-Etherton, 1999). Oleik asitin birincil kaynağı olan zeytinyağı Akdeniz diyetinin temelini oluşturmaktadır (Waterman ve Lockwood, 2007). Bu sayede Akdeniz diyeti kardiyovasküler hastalıklar, Parkinson ve Alzheimer hastalık oluşum riskini ve kanser insidansını azaltmaktadır (Sofi ve ark, 2008). MUFA'nın insülin direnci üzerindeki etkisini belirleyen çalışmalarda, MUFA bakımından zengin diyetlerin periferik insülin duyarlılığında iyileşmeye neden olduğu gösterilmiştir (Vessby ve ark, 2001; Salas ve ark, 1999). Fareler üzerinde yapılan bir çalışmada, 14 gün boyunca oleik asitin belirli dozlarda verilmesi sonucunda, AMPK seviyesindeki artış ile birlikte lipit oksidasyonunun arttığı gözlemlenmiştir (Gonçalves-de-Albuquerque ve ark, 2016).

3.12. ALA

Alfa-lipoik asit (ALA), mitokondride sentezlenen bir koenzimdir (Badran ve ark, 2019). ALA, glutatyon sentezinin artırılması gibi çeşitli işlevler ile hücrelerde serbest radikaller üzerine etkilidir (Tibullo ve ark, 2017). ALA, diyabetik periferik nöropati ve kanser gibi çeşitli hastalıkların klinik tedavisinde kullanılmış ve etkili bulunmuştur (Mendoza-Núñez ve ark, 2019; Jeon ve ark, 2016; Moon, 2016). Özellikle güçlü antioksidan özelliği sayesinde oksidatif stresle ilişkili olarak diyabetin komplikasyonlarının yönetiminde kullanımı önem kazanmıştır (Laher, 2011). Yapılan klinik çalışmalarda ALA'nın AMPK'yı aktive ederek metabolik sendrom, lipotoksik kardiyomiopati ve endotel disfonksiyonu üzerinde etkileri olduğu gösterilmiştir (Lee ve ark, 2005a; Lee ve ark, 2006b; Lee ve ark, 2005b). Fareler üzerine yapılan bir çalışmada ALA takviyesinin, AMPK

fosforilasyonu ve PGC-la ile birlikte, GLUT4'ün mRNA ekspresyonunu sağlayarak iskelet kasının mitokondriyal biyogenezini artırdığı sonucuna varılmıştır (Wang ve ark, 2010). Yapılan diğer bir çalışmada ise Wistar sıçanlarına ALA takviyesi uygulanmış, düşük ve yüksek yağlı diyet uygulayan sıçanlarda

vücut ağırlığının önemli ölçüde azaldığı, glikoz toleransının geliştiği bulunmuştur. Ancak bu etkilere artmış kas AMPK aktivasyonunun veya kas insülin duyarlılığında ALA'nın neden olduğu iyileşmenin aracılık etmediği sonucuna varılmıştır (Timmers ve ark, 2010).

Tablo 1. AMPK'nın doğal aktivatörlerinin hastalıklar üzerine etki mekanizması

Aktivatör Türü	Etki Mekanizması	Kaynakça
Berberin	AMPK'yı aktive ederek; insülin direnci varlığında yüksek aktiviteye sahip olan mTOR yolunu inhibe etme, 3T3-L1 adipositlerinde lipid birikimini azaltarak obezitede etkili olma, L6 hücrelerinde GLUT4 translokasyonunu artırarak diyabet tedavisinde yarar sağlama, tümör oluşumunu baskılama	Cheng ve ark, 2006 Yin ve ark, 2002 Turner ve ark, 2008 Lee ve ark, 2006a Li ve ark, 2015
Resveratrol	AMPK'yı aktive ederek; mTORC1 aktivitesini baskılayıp otofajiyi indüklemeye ile kanser hücrelerinin canlılığını azaltma, çeşitli mekanizmaları düzenleyerek kan basıncını azaltma, ROS üretimini durdurma ve ERK1 / 2-RSK-nNOS yolu aktivitesini artırma, glikoza bağlı apoptoz ve ROS yükselmesini inhibe etme	Park ve ark, 2016 Cheng ve ark, 2016 Li ve ark, 2017
Kuersetin	AMPK ve/veya SIRT1'in düzenlenmesi ile; adipositlerde iltihabı inhibe etme, glikozun atılmasını destekleme, AMPK'nın aktivasyonu yoluyla; apoptozu indüklemeye, oksidatif stres kaynaklı vasküler düz kas hücresi yaşlanmasını hafifletme	Xiao ve ark, 2014 Kim ve ark, 2020
Salisilat	AMPK'yı aktive ederek; antitümörjenik, antienflamatuar etkiler sağlama, karaciğerde lipid birikimini azaltarak karaciğer yağlanması tedavisinde yararlı olma, insülin duyarlılığını artırma, lipogenezini azaltma	Ford ve ark, 2015 Smith ve ark, 2016 Violet ve ark, 2009 Ross, 2012
Kurkumin	NF-κB, SIRT1 ve AMPK'nın dahil olduğu metabolik yolların aktivitesini regüle etme, 3T3-L1 adiposit hücre kültür sistemlerinde AMPK aktivasyonu yoluyla lipid metabolizmasını etkileyerek obeziteyi önleme, AMPK, PPARγ ve NF-κB ekspresyonunun düzenlenmesi yoluyla diyabetik komplikasyonların tedavisi için yararlı bir etki gösterme, hücre içine glikoz girişini artırma, hücrelerin genel fonksiyonlarını iyileştirme	Ejaz ve ark, 2009 Jiménez-Flores ve ark, 2014 Chuengsamarn ve ark, 2012
Prosiyanidin	AMPK'yı aktive ederek GLUT4 translokasyonunu artırma, hepatik hasara karşı koruyucu etki gösterme	Yagasaki, 2014 Yang ve ark, 2015
Ginseng	AMPK'nın aktivasyonu ve PPARγ transkripsiyonel aktivitesinin inhibisyonu yoluyla; adiposit farklılaşmasını inhibe etme, SIRT1'in indüksiyonu ve AMPK'nın aktivasyonu yoluyla; otofajiyi düzelterek hepatik lipid birikimini hafifletme, glikoz toleransını artırma, AMPK'nın aktivasyonu ile; hücreleri mitokondriyal bozulmadan koruyabilme, H4IIE hepatositlerinde palmitatın neden olduğu glukoneogenezini inhibe edebilme	Hwang ve ark, 2009 Huang ve ark, 2017 Dong ve ark, 2013 Lee ve ark, 2011
Epigallocateşin 3-gallat	AMPK'yı aktive ederek kanser hücrelerinin büyümesini inhibe edebilme, AMPK aktivasyonunun etkilerinin artmasına ve apoptozun indüklenmesine neden olan miRNA'ları (mir-221) düzenleme, AMPK aktivasyonu yoluyla; obezite ve epididimal beyaz yağ dokusu ağırlığını kısmen azaltabilme, insülin direncini önleme	Kanwar ve ark, 2012 Landis-Piwowar ve ark, 2013 Landis-Piwowar ve ark, 2007 Li ve ark, 2018 Zang ve ark, 2006
Aspalathus Linearis (Rooibos)	AMPK'yı modüle ederek; C2C12 kasında ve 3T3-L1 hücrelerinde insülin direncini iyileştirme, kan glikozu ve lipid düşürücü özelliklere sahip olma	Mazibuko ve ark, 2013 Mazibuko ve ark, 2015 Johnson ve ark, 2017 Kawano ve ark, 2009
Gingerol	SIRT1 / AMPK / PGC-la yollarının aktivasyonu yoluyla; termogenezini, mitokondriyal biyogenezini, kahverengi yağ dokusu fonksiyonunu ve aktif beyaz yağ dokusu kahverengileşmesini artırma, enerji harcamasını artırma, AMPK/NF-κB yolu aracılığıyla; enflamatuar durumu ve metabolik bozuklukları iyileştirme	Wang ve ark, 2019 Deng ve ark, 2019 Kim ve ark, 2018 Li ve ark, 2014 Hashem ve ark, 2017
MUFA	AMPK seviyesinde artış ile birlikte lipid oksidasyonunu artırma, periferik insülin duyarlılığında iyileşme	Gonçalves-de-Albuquerque ve ark, 2016 Vessby ve ark, 2001
ALA	AMPK fosforilasyonu ve PGC-la ile birlikte; GLUT4'ün mRNA ekspresyonunu sağlayarak iskelet kasının mitokondriyal biyogenezini artırma	Wang ve ark, 2010

4. Sonuç

AMPK, pekçok farklı aktivakörü olan bir hücre enerji sensörüdür. Enerji dengesi ile ilgili önemli işlevleri olmasının yanı sıra AMPK vücutta otofajinin, insüline bağımlı olmadan GLUT4 translokasyonunun ve yağ asidi oksidasyonunun sağlanması gibi metabolik işlevleri de yerine getirmektedir. Yapılan klinik çalışmalarda AMPK'nın berberin, resveratrol, kur kumin, ginseng vb. gibi çeşitli doğal aktivatörler tarafından aktive edilmesi ile prediyabet, diyabet, obezite ve kanser gibi hastalıkların tedavisinde önemli bir rolü olduğu ve mevcut tedavilere potansiyel bir alternatif olabileceği görülmüştür. Ancak AMPK'nın aktivasyonunun artırılmasında doğal aktivatörlerin rolü ve etki mekanizmasının tam olarak anlaşılması için daha fazla klinik çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Sonuç olarak; AMPK'nın doğal aktivatörlerine sağlık etkileri göz önünde bulundurularak, günlük diyet içerisinde yer verilmelidir.

Kaynakça

- Aggarwal, B. B., Bhardwaj, A., Aggarwal, R. S., Seeram, N. P., Shishodia, S., & Takada, Y. (2004). Role of resveratrol in prevention and therapy of cancer: preclinical and clinical studies. *Anticancer research*, 24(5A), 2783-2840.
- Ahmadian, M., Abbott, M. J., Tang, T., Hudak, C. S., Kim, Y., Bruss, M., ... & Wang, Y. (2011). Desnutrin/ATGL is regulated by AMPK and is required for a brown adipose phenotype. *Cell metabolism*, 13(6), 739-748.
- Amritpal, S., Sanjiv, D., Navpreet, K., & Jaswinder, S. (2010). Berberine: alkaloid with wide spectrum of pharmacological activities. *Journal of Natural Products (India)*, 3, 64-75.
- Atta-ur-Rahman, F. R. S. (2018). *Studies in natural products chemistry*. Amsterdam: Elsevier.
- Attele, A. S., Wu, J. A., & Yuan, C. S. (1999). Ginseng pharmacology: multiple constituents and multiple actions. *Biochemical pharmacology*, 58(11), 1685-1693.
- Badran, M., Abuyassin, B., Golbidi, S., Ayas, N., & Laher, I. (2019). Alpha lipoic acid improves endothelial function and oxidative stress in mice exposed to chronic intermittent hypoxia. *Oxidative medicine and cellular longevity*, 2019.
- Bagchi, D., Garg, A., Krohn, R. L., Bagchi, M., Tran, M. X., & Stohs, S. J. (1997). Oxygen free radical scavenging abilities of vitamins C and E, and a grape seed proanthocyanidin extract in vitro. *Research communications in molecular pathology and pharmacology*, 95(2), 179-189.
- Bai, L., Gao, J., Wei, F., Zhao, J., Wang, D., & Wei, J. (2018). Therapeutic potential of ginsenosides as an adjuvant treatment for diabetes. *Frontiers in pharmacology*, 9, 423.
- Banerjee, S., Ghoshal, S., & Porter, T. D. (2012). Phosphorylation of hepatic AMP-activated protein kinase and liver kinase B1 is increased after a single oral dose of green tea extract to mice. *Nutrition research*, 32(12), 985-990.
- Beecher, G. R. (2004). Proanthocyanidins: Biological activities associated with human health. *Pharmaceutical Biology*, 42(sup1), 2-20.
- Beg, Z. H., Allmann, D. W., & Gibson, D. M. (1973). Modulation of 3-hydroxy-3-methylglutaryl coenzyme A reductase activity with cAMP and with protein fractions of rat liver cytosol. *Biochemical and biophysical research communications*, 54(4), 1362-1369.
- Benedec, D. A. N. I. E. L. A., Hanganu, D. A. N. I. E. L. A., Filip, L., Oniga, I., Tiperciuc, B. R. Î. N. D. U. Ş. A., Olah, N. K., ... & Vlase, L. A. U. R. I. A. N. (2017). Chemical, antioxidant and antibacterial studies of Romanian *Heracleum sphondylium*. *Farmacia (Bucharest, Rom)*, 65, 252-256.
- Beslenme, B. A. (2004). Hatipoğlu Yayınevi.
- Bischoff, S. C. (2008). Quercetin: potentials in the prevention and therapy of disease. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*, 11(6), 733-740.
- Boots, A. W., Haenen, G. R., & Bast, A. (2008). Health effects of quercetin: from antioxidant to nutraceutical. *European journal of pharmacology*, 585(2-3), 325-337.
- Bravo, L. (1998). Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. *Nutrition reviews*, 56(11), 317-333.
- Butt, M. S., & Sultan, M. T. (2011). Ginger and its health claims: molecular aspects. *Critical reviews in food science and nutrition*, 51(5), 383-393.
- Carling, D., Zammit, V. A., & Hardie, D. G. (1987). A common bicyclic protein kinase cascade inactivates the regulatory enzymes of fatty acid and cholesterol biosynthesis. *FEBS letters*, 223(2), 217-222.
- Carlson, C. A., & Kim, K. H. (1973). Regulation of hepatic acetyl coenzyme A carboxylase by phosphorylation and dephosphorylation. *Journal of Biological Chemistry*, 248(1), 378-380.
- Chen, C., Yu, Z., Li, Y., Fichna, J., & Storr, M. (2014). Effects of berberine in the gastrointestinal tract—a review of actions and therapeutic implications. *The American journal of Chinese medicine*, 42(05), 1053-1070.
- Cheng, P. W., Lee, H. C., Lu, P. J., Chen, H. H., Lai, C. C., Sun, G. C., Yeh, T. C., Hsiao, M., Lin, Y. T., Liu, C. P., & Tseng, C. J. (2016). Resveratrol Inhibition of Rac1-Derived Reactive Oxygen Species by AMPK Decreases Blood Pressure in a Fructose-Induced Rat Model of Hypertension. *Scientific reports*, 6, 25342. <https://doi.org/10.1038/srep25342>
- Cheng, Z., Pang, T., Gu, M., Gao, A. H., Xie, C. M., Li, J. Y., ... & Li, J. (2006). Berberine-stimulated glucose uptake in L6 myotubes involves both AMPK and p38 MAPK. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects*, 1760(11), 1682-1689.
- CHOI, K. T. (2008). Botanical characteristics, pharmacological effects and medicinal components of Korean *Panax ginseng* CA Meyer. *Acta Pharmacologica Sinica*, 29(9), 1109-1118.
- Choi, J. A., Kim, J. Y., Lee, J. Y., Kang, C. M., Kwon, H. J., Yoo, Y. D., ... & Lee, S. J. (2001). Induction of cell cycle arrest and apoptosis in human breast cancer cells by quercetin. *International journal of oncology*, 19(4), 837-844.

- Chowdhury, A., Sarkar, J., Chakraborti, T., Pramanik, P. K., & Chakraborti, S. (2016). Protective role of epigallocatechin-3-gallate in health and disease: a perspective. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 78, 50-59.
- Chuengsamarn, S., Rattanamongkolgul, S., Luechapudiporn, R., Phisalaphong, C., & Jirawatnotai, S. (2012). Curcumin extract for prevention of type 2 diabetes. *Diabetes care*, 35(11), 2121-2127.
- Claussnitzer, M., Skurk, T., Hauner, H., Daniel, H., & Rist, M. J. (2011). Effect of flavonoids on basal and insulin-stimulated 2-deoxyglucose uptake in adipocytes. *Molecular nutrition & food research*, 55(S1), S26-S34.
- Davaatseren, M., Hur, H. J., Yang, H. J., Hwang, J. T., Park, J. H., Kim, H. J., ... & Sung, M. J. (2013). Taraxacum official (dandelion) leaf extract alleviates high-fat diet-induced nonalcoholic fatty liver. *Food and chemical toxicology*, 58, 30-36.
- Deng, X., Zhang, S., Wu, J., Sun, X., Shen, Z., Dong, J., & Huang, J. (2019). Promotion of Mitochondrial Biogenesis via Activation of AMPK-PGC1 α Signaling Pathway by Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) Extract, and Its Major Active Component 6-Gingerol. *Journal of food science*, 84(8), 2101-2111.
- Dong, G. Z., Jang, E. J., Kang, S. H., Cho, I. J., Park, S. D., Kim, S. C., & Kim, Y. W. (2013). Red ginseng abrogates oxidative stress via mitochondria protection mediated by LKB1-AMPK pathway. *BMC complementary and alternative medicine*, 13, 64. <https://doi.org/10.1186/1472-6882-13-64>
- Dong, H., Wang, N., Zhao, L., & Lu, F. (2012). Berberine in the treatment of type 2 diabetes mellitus: a systemic review and meta-analysis. *Evidence-based complementary and alternative medicine*, 2012.
- Ejaz, A., Wu, D., Kwan, P., & Meydani, M. (2009). Curcumin inhibits adipogenesis in 3T3-L1 adipocytes and angiogenesis and obesity in C57/BL mice. *The Journal of nutrition*, 139(5), 919-925.
- Elzebroek, A. T. G. (2008). *Guide to cultivated plants*. CABI.
- Faubert, B., Vincent, E. E., Poffenberger, M. C., & Jones, R. G. (2015). The AMP-activated protein kinase (AMPK) and cancer: many faces of a metabolic regulator. *Cancer letters*, 356(2), 165-170.
- Ford, R. J., Fullerton, M. D., Pinkosky, S. L., Day, E. A., Scott, J. W., Oakhill, J. S., ... & Marcinko, K. (2015). Metformin and salicylate synergistically activate liver AMPK, inhibit lipogenesis and improve insulin sensitivity. *Biochemical Journal*, 468(1), 125-132.
- Gonçalves-de-Albuquerque, C. F., Medeiros-de-Moraes, I. M., de Jesus Oliveira, F. M., Burth, P., Bozza, P. T., Faria, M. V. C., ... & de Castro-Faria-Neto, H. C. (2016). Omega-9 oleic acid induces fatty acid oxidation and decreases organ dysfunction and mortality in experimental sepsis. *PLoS One*, 11(4).
- Govindarajan, V. S., & Connell, D. W. (1983). Ginger—chemistry, technology, and quality evaluation: part 1. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 17(1), 1-96.
- Grahame Hardie, D. (2014). AMP-activated protein kinase: a key regulator of energy balance with many roles in human disease. *Journal of internal medicine*, 276(6), 543-559.
- Güzel, N. (2010). *Nar suyu konsantresi üretim aşamalarında prosiyanidinlerdeki değişimler* (Doctoral dissertation, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara Üniversitesi, Ankara).
- Gwinn, D. M., Shackelford, D. B., Egan, D. F., Mihaylova, M. M., Mery, A., Vasquez, D. S., ... & Shaw, R. J. (2008). AMPK phosphorylation of raptor mediates a metabolic checkpoint. *Molecular cell*, 30(2), 214-226.
- Habtemariam, S. (2011). The therapeutic potential of Berberis darwinii stem-bark: quantification of berberine and in vitro evidence for Alzheimer's disease therapy. *Natural product communications*, 6(8), 1934578X1100600809.
- Habtemariam, S. (2013). The hidden treasure in Europe's garden plants: Case examples; Berberis darwinii and Berberis cordifolia. *Medicinal & Aromatic Plants*, 2(4).
- Habtemariam, S. (2016). Berberine and inflammatory bowel disease: A concise review. *Pharmacological research*, 113, 592-599.
- Hardie, D. G. (2007). AMP-activated/SNF1 protein kinases: conserved guardians of cellular energy. *Nature reviews Molecular cell biology*, 8(10), 774-785.
- Hardie, D. G. (2013). AMPK: a target for drugs and natural products with effects on both diabetes and cancer. *Diabetes*, 62(7), 2164-2172.
- Hardie, D. G. (2016). Regulation of AMP-activated protein kinase by natural and synthetic activators. *Acta Pharmaceutica Sinica B*, 6(1), 1-19.
- Hardie, D. G., Carling, D., & Sim, A. T. (1989). The AMP-activated protein kinase: a multisubstrate regulator of lipid metabolism. *Trends in Biochemical Sciences*, 14(1), 20-23.
- Hashem, R. M., Rashed, L. A., Hassanin, K. M., Hetta, M. H., & Ahmed, A. O. (2017). Effect of 6-gingerol on AMPK-NF- κ B axis in high fat diet fed rats. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 88, 293-301.
- Hawkins, H. J., Malgas, R., & Biénabe, E. (2011). Ecotypes of wild rooibos (*Aspalathus linearis* (Burm. F) Dahlg., Fabaceae) are ecologically distinct. *South African Journal of Botany*, 77(2), 360-370.
- Hawley, S. A., Fullerton, M. D., Ross, F. A., Schertzer, J. D., Chevtzoff, C., Walker, K. J., ... & Kemp, B. E. (2012). The ancient drug salicylate directly activates AMP-activated protein kinase. *Science*, 336(6083), 918-922.
- Hirpara, K. V., Aggarwal, P., Mukherjee, A. J., Joshi, N., & Burman, A. C. (2009). Quercetin and its derivatives: synthesis, pharmacological uses with special emphasis on anti-tumor properties and prodrug with enhanced bio-availability. *Anti-Cancer Agents in Medicinal Chemistry (Formerly Current Medicinal Chemistry-Anti-Cancer Agents)*, 9(2), 138-161.
- Hoppe, S., Bierhoff, H., Cado, I., Weber, A., Tiebe, M., Grummt, I., & Voit, R. (2009). AMP-activated protein kinase adapts rRNA synthesis to cellular energy supply. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(42), 17781-17786.

- Huang, C. H., Tsai, S. J., Wang, Y. J., Pan, M. H., Kao, J. Y., & Way, T. D. (2009). EGCG inhibits protein synthesis, lipogenesis, and cell cycle progression through activation of AMPK in p53 positive and negative human hepatoma cells. *Molecular nutrition & food research*, 53(9), 1156-1165.
- Huang, H. C., & Lin, J. K. (2012). Pu-erh tea, green tea, and black tea suppresses hyperlipidemia, hyperleptinemia and fatty acid synthase through activating AMPK in rats fed a high-fructose diet. *Food & function*, 3(2), 170-177.
- Huang, Q., Wang, T., Yang, L., & Wang, H. Y. (2017). Ginsenoside Rb2 Alleviates Hepatic Lipid Accumulation by Restoring Autophagy via Induction of Sirt1 and Activation of AMPK. *International journal of molecular sciences*, 18(5), 1063. <https://doi.org/10.3390/ijms18051063>
- Hurley, R. L., Anderson, K. A., Franzone, J. M., Kemp, B. E., Means, A. R., & Witters, L. A. (2005). The Ca²⁺/calmodulin-dependent protein kinase kinases are AMP-activated protein kinase kinases. *Journal of Biological Chemistry*, 280(32), 29060-29066.
- Hwang, J. T., Ha, J., Park, I. J., Lee, S. K., Baik, H. W., Kim, Y. M., & Park, O. J. (2007). Apoptotic effect of EGCG in HT-29 colon cancer cells via AMPK signal pathway. *Cancer letters*, 247(1), 115-121.
- Hwang, J. T., Kim, S. H., Lee, M. S., Kim, S. H., Yang, H. J., Kim, M. J., ... & Kwon, D. Y. (2007). Anti-obesity effects of ginsenoside Rh2 are associated with the activation of AMPK signaling pathway in 3T3-L1 adipocyte. *Biochemical and biophysical research communications*, 364(4), 1002-1008.
- Hwang, J. T., Lee, M. S., Kim, H. J., Sung, M. J., Kim, H. Y., Kim, M. S., & Kwon, D. Y. (2009). Antiobesity effect of ginsenoside Rg3 involves the AMPK and PPAR- γ signal pathways. *Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives*, 23(2), 262-266.
- Imenshahidi, M., & Hosseinzadeh, H. (2019). Berberine and barberry (*Berberis vulgaris*): A clinical review. *Phytotherapy Research*, 33(3), 504-523.
- Jamshaid, F., Dai, J., & Yang, L. X. (2020). New Development of Novel Berberine Derivatives against Bacteria. *Mini reviews in medicinal chemistry*.
- Jang, M., Cai, L., Udeani, G. O., Slowing, K. V., Thomas, C. F., Beecher, C. W., ... & Moon, R. C. (1997). Cancer chemopreventive activity of resveratrol, a natural product derived from grapes. *Science*, 275(5297), 218-220.
- Jeon, M. J., Kim, W. G., Lim, S., Choi, H. J., Sim, S., Kim, T. Y., ... & Kim, W. B. (2016). Alpha lipoic acid inhibits proliferation and epithelial mesenchymal transition of thyroid cancer cells. *Molecular and cellular endocrinology*, 419, 113-123.
- Jeon, S. M. (2016). Regulation and function of AMPK in physiology and diseases. *Experimental & molecular medicine*, 48(7), e245-e245.
- Jiménez-Flores, L. M., López-Briones, S., Macías-Cervantes, M. H., Ramírez-Emiliano, J., & Pérez-Vázquez, V. (2014). A PPAR γ , NF- κ B and AMPK-dependent mechanism may be involved in the beneficial effects of curcumin in the diabetic db/db mice liver. *Molecules*, 19(6), 8289-8302.
- Jochmann, N., Baumann, G., & Stangl, V. (2008). Green tea and cardiovascular disease: from molecular targets towards human health. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*, 11(6), 758-765.
- Johnson, R., de Beer, D., Dlodla, P. V., Ferreira, D., Muller, C. J., & Joubert, E. (2018). Aspalathin from rooibos (*Aspalathus linearis*): a bioactive C-glucosyl dihydrochalcone with potential to target the metabolic syndrome. *Planta medica*, 84(09/10), 568-583.
- Johnson, R., Dlodla, P. V., Muller, C. J., Huisamen, B., Essop, M. F., & Louw, J. (2017). The transcription profile unveils the cardioprotective effect of aspalathin against lipid toxicity in an in vitro H9c2 model. *Molecules*, 22(2), 219.
- Johnson, R., Dlodla, P., Joubert, E., February, F., Mazibuko, S., Ghoor, S., ... & Louw, J. (2016). Aspalathin, a dihydrochalcone C-glucoside, protects H9c2 cardiomyocytes against high glucose induced shifts in substrate preference and apoptosis. *Molecular nutrition & food research*, 60(4), 922-934.
- Jolad, S. D., Lantz, R. C., Solyom, A. M., Chen, G. J., Bates, R. B., & Timmermann, B. N. (2004). Fresh organically grown ginger (*Zingiber officinale*): composition and effects on LPS-induced PGE2 production. *Phytochemistry*, 65(13), 1937-1954.
- Joubert, E. D. B. D., & de Beer, D. (2011). Rooibos (*Aspalathus linearis*) beyond the farm gate: From herbal tea to potential phytopharmaceutical. *South African Journal of Botany*, 77(4), 869-886.
- Kahn, B. B., Alquier, T., Carling, D., & Hardie, D. G. (2005). AMP-activated protein kinase: ancient energy gauge provides clues to modern understanding of metabolism. *Cell metabolism*, 1(1), 15-25.
- Kang, O. H., Shon, M. Y., Kong, R., Seo, Y. S., Zhou, T., Kim, D. Y., Kim, Y. S., & Kwon, D. Y. (2017). Anti-diabetic effect of black ginseng extract by augmentation of AMPK protein activity and upregulation of GLUT2 and GLUT4 expression in db/db mice. *BMC complementary and alternative medicine*, 17(1), 341. <https://doi.org/10.1186/s12906-017-1839-4>
- Kanwar, J., Taskeen, M., Mohammad, I., Huo, C., Chan, T. H., & Dou, Q. P. (2012). Recent advances on tea polyphenols. *Frontiers in bioscience (Elite edition)*, 4, 111.
- Kawano, A., Nakamura, H., Hata, S. I., Minakawa, M., Miura, Y., & Yagasaki, K. (2009). Hypoglycemic effect of aspalathin, a rooibos tea component from *Aspalathus linearis*, in type 2 diabetic model db/db mice. *Phytotherapy Research*, 16(5), 437-443.
- Kayahan, M. (2009). Sağlıklı beslenme açısından trans yağ asitleri. II. Geleneksel Gıdalar Sempozyumu, 27-29.
- Kim, H. S., Montana, V., Jang, H. J., Parpura, V., & Kim, J. A. (2013). Epigallocatechin Gallate (EGCG) Stimulates Autophagy in Vascular Endothelial Cells a potential role for reducing lipid accumulation. *Journal of Biological Chemistry*, 288(31), 22693-22705.

- Kim, S. G., Sung, J. Y., Kim, J. R., & Choi, H. C. (2020). Quercetin-induced apoptosis ameliorates vascular smooth muscle cell senescence through AMP-activated protein kinase signaling pathway. *The Korean journal of physiology & pharmacology : official journal of the Korean Physiological Society and the Korean Society of Pharmacology*, 24(1), 69–79. <https://doi.org/10.4196/kjpp.2020.24.1.69>
- Kim, S. J., Tang, T., Abbott, M., Viscarra, J. A., Wang, Y., & Sul, H. S. (2016). AMPK phosphorylates desnutrin/ATGL and hormone-sensitive lipase to regulate lipolysis and fatty acid oxidation within adipose tissue. *Molecular and cellular biology*, 36(14), 1961-1976.
- Kim, S., Lee, M. S., Jung, S., Son, H. Y., Park, S., Kang, B., ... & Kim, Y. (2018). Ginger extract ameliorates obesity and inflammation via regulating microRNA-21/132 expression and AMPK activation in white adipose tissue. *Nutrients*, 10(11), 1567.
- Kişimiroğlu, C., Cengiz, S., & Yaman, M. (2020). AMPK'nin Biyokimyası: Etki Mekanizmaları ve Diyabetin Tedavisindeki Önemi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 162-170.
- Kobayashi-Hattori, K., Mogi, A., Matsumoto, Y., & Takita, T. (2005). Effect of caffeine on the body fat and lipid metabolism of rats fed on a high-fat diet. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*, 69(11), 2219-2223.
- Kris-Etherton, P. M. (1999). Monounsaturated fatty acids and risk of cardiovascular disease. *Circulation*, 100(11), 1253-1258.
- Krishan, S., Richardson, D. R., & Sahni, S. (2015). Adenosine monophosphate-activated kinase and its key role in catabolism: Structure, regulation, biological activity, and pharmacological activation. *Molecular pharmacology*, 87(3), 363-377.
- Kuo, P. C., Liu, H. F., & Chao, J. I. (2004). Survivin and p53 modulate quercetin-induced cell growth inhibition and apoptosis in human lung carcinoma cells. *Journal of Biological Chemistry*, 279(53), 55875-55885.
- Kurimoto, Y., Shibayama, Y., Inoue, S., Soga, M., Takikawa, M., Ito, C., ... & Tsuda, T. (2013). Black soybean seed coat extract ameliorates hyperglycemia and insulin sensitivity via the activation of AMP-activated protein kinase in diabetic mice. *Journal of agricultural and food chemistry*, 61(23), 5558-5564.
- Laher, I. (2011). Diabetes and alpha lipoic acid. *Frontiers in pharmacology*, 2, 69.
- Landis-Piowar, K. R., Huo, C., Chen, D. I., Milacic, V., Shi, G., Chan, T. H., & Dou, Q. P. (2007). A novel prodrug of the green tea polyphenol (–)–epigallocatechin-3-gallate as a potential anticancer agent. *Cancer research*, 67(9), 4303-4310.
- Landis-Piowar, K., Chen, D., Foldes, R., Chan, T. H., & Dou, Q. P. (2013). Novel epigallocatechin gallate analogs as potential anticancer agents: a patent review (2009–present). *Expert opinion on therapeutic patents*, 23(2), 189-202.
- Lee, K. T., Jung, T. W., Lee, H. J., Kim, S. G., Shin, Y. S., & Whang, W. K. (2011). The antidiabetic effect of ginsenoside Rb2 via activation of AMPK. *Archives of pharmacal research*, 34(7), 1201.
- Lee, W. J., Lee, I. K., Kim, H. S., Kim, Y. M., Koh, E. H., Won, J. C., ... & Park, I. S. (2005a). α -Lipoic acid prevents endothelial dysfunction in obese rats via activation of AMP-activated protein kinase. *Arteriosclerosis, thrombosis, and vascular biology*, 25(12), 2488-2494.
- Lee, W. J., Song, K. H., Koh, E. H., Won, J. C., Kim, H. S., Park, H. S., ... & Park, J. Y. (2005b). α -Lipoic acid increases insulin sensitivity by activating AMPK in skeletal muscle. *Biochemical and biophysical research communications*, 332(3), 885-891.
- Lee, Y. S., Kim, W. S., Kim, K. H., Yoon, M. J., Cho, H. J., Shen, Y., ... & Hohnen-Behrens, C. (2006a). Berberine, a natural plant product, activates AMP-activated protein kinase with beneficial metabolic effects in diabetic and insulin-resistant states. *Diabetes*, 55(8), 2256-2264.
- Lee, Y., Naseem, R. H., Park, B. H., Garry, D. J., Richardson, J. A., Schaffer, J. E., & Unger, R. H. (2006b). α -Lipoic acid prevents lipotoxic cardiomyopathy in acyl CoA-synthase transgenic mice. *Biochemical and biophysical research communications*, 344(1), 446-452.
- Li, F., Gao, C., Yan, P., Zhang, M., Wang, Y., Hu, Y., Wu, X., Wang, X., & Sheng, J. (2018). EGCG Reduces Obesity and White Adipose Tissue Gain Partly Through AMPK Activation in Mice. *Frontiers in pharmacology*, 9, 1366. <https://doi.org/10.3389/fphar.2018.01366>
- Li, J., Yu, S., Ying, J., Shi, T., & Wang, P. (2017). Resveratrol Prevents ROS-Induced Apoptosis in High Glucose-Treated Retinal Capillary Endothelial Cells via the Activation of AMPK/Sirt1/PGC-1 α Pathway. *Oxidative medicine and cellular longevity*, 2017, 7584691. <https://doi.org/10.1155/2017/7584691>
- Li, W., Hua, B., Saud, S. M., Lin, H., Hou, W., Matter, M. S., ... & Young, M. R. (2015). Berberine regulates AMP-activated protein kinase signaling pathways and inhibits colon tumorigenesis in mice. *Molecular carcinogenesis*, 54(10), 1096-1109.
- Li, Y., Tran, V. H., Kota, B. P., Nammi, S., Duke, C. C., & Roufogalis, B. D. (2014). Preventative effect of Zingiber officinale on insulin resistance in a high-fat high-carbohydrate diet-fed rat model and its mechanism of action. *Basic & clinical pharmacology & toxicology*, 115(2), 209-215.
- Liang, Y., Xu, X., Yin, M., Zhang, Y., Huang, L., Chen, R., & Ni, J. (2019). Effects of berberine on blood glucose in patients with type 2 diabetes mellitus: a systematic literature review and a meta-analysis. *Endocrine journal*, 66(1), 51-63.
- Lin, Y., Yngve, A., Lagergren, J., & Lu, Y. (2014). A dietary pattern rich in lignans, quercetin and resveratrol decreases the risk of oesophageal cancer. *British journal of nutrition*, 112(12), 2002-2009.
- Luo, L., Jiang, S., Huang, D., Lu, N., & Luo, Z. (2015). MLK3 phosphorylates AMPK independently of LKB1. *PLoS One*, 10(4).
- Malgas, R. R., Potts, A. J., Oetlé, N. M., Koelle, B., Todd, S. W., Verboom, G. A., & Hoffman, M. T. (2010). Distribution,

- quantitative morphological variation and preliminary molecular analysis of different growth forms of wild rooibos (*Aspalathus linearis*) in the northern Cederberg and on the Bokkeveld Plateau. *South African Journal of Botany*, 76(1), 72-81.
- Mazibuko, S. E., Joubert, E., Johnson, R., Louw, J., Opoku, A. R., & Muller, C. J. (2015). Aspalathin improves glucose and lipid metabolism in 3T3-L1 adipocytes exposed to palmitate. *Molecular nutrition & food research*, 59(11), 2199-2208.
- Mazibuko, S. E., Muller, C. J. F., Joubert, E., De Beer, D., Johnson, R., Opoku, A. R., & Louw, J. (2013). Amelioration of palmitate-induced insulin resistance in C2C12 muscle cells by rooibos (*Aspalathus linearis*). *Phytomedicine*, 20(10), 813-819.
- Mazibuko-Mbeje, S. E., Dlodla, P. V., Roux, C., Johnson, R., Ghoor, S., Joubert, E., ... & Muller, C. J. (2019). Aspalathin-enriched green rooibos extract reduces hepatic insulin resistance by modulating PI3K/AKT and AMPK pathways. *International journal of molecular sciences*, 20(3), 633.
- McKay, D. L., & Blumberg, J. B. (2007). A review of the bioactivity of South African herbal teas: rooibos (*Aspalathus linearis*) and honeybush (*Cyclopia intermedia*). *Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives*, 21(1), 1-16.
- Mendoza-Núñez, V. M., García-Martínez, B. I., Rosado-Pérez, J., Santiago-Osorio, E., Pedraza-Chaverri, J., & Hernández-Abad, V. J. (2019). The effect of 600 mg alpha-lipoic acid supplementation on oxidative stress, inflammation, and RAGE in older adults with type 2 diabetes mellitus. *Oxidative medicine and cellular longevity*, 2019.
- Metodiewa, D., Jaiswal, A. K., Cenas, N., Dickanaité, E., & Segura-Aguilar, J. (1999). Quercetin may act as a cytotoxic prooxidant after its metabolic activation to semiquinone and quinoidal product. *Free radical biology and medicine*, 26(1-2), 107-116.
- Minakawa, M., Kawano, A., Miura, Y., & Yagasaki, K. (2011). Hypoglycemic effect of resveratrol in type 2 diabetic model db/db mice and its actions in cultured L6 myotubes and RIN-5F pancreatic β -cells. *Journal of clinical biochemistry and nutrition*, 48(3), 237-244.
- Momcilovic, M., Hong, S. P., & Carlson, M. (2006). Mammalian TAK1 activates Snf1 protein kinase in yeast and phosphorylates AMP-activated protein kinase in vitro. *Journal of Biological Chemistry*, 281(35), 25336-25343.
- Moon, H. S. (2016). Chemopreventive effects of alpha lipoic acid on obesity-related cancers. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 68(2), 137-144.
- Muller, C. J. F., Joubert, E., De Beer, D., Sanderson, M., Malherbe, C. J., Fey, S. J., & Louw, J. (2012). Acute assessment of an aspalathin-enriched green rooibos (*Aspalathus linearis*) extract with hypoglycemic potential. *Phytomedicine*, 20(1), 32-39.
- Murase, T., Misawa, K., Haramizu, S., & Hase, T. (2009). Catechin-induced activation of the LKB1/AMP-activated protein kinase pathway. *Biochemical pharmacology*, 78(1), 78-84.
- Olcay, İ., Besler, H. T., Diyetisyeni, B. Ü. A. H. U., & Beslenme, H. Ü. (2012). Yeni doğanda beyin gelişimi ve Omega-3 yağ asitleri. *Danone Enstitüsü Türkiye Derneği, Sağlık İçin Beslenme*.
- Ong, C. S., Tran, E., Nguyen, T. T., Ong, C. K., Lee, S. K., Lee, J. J., ... & Huynh, H. (2004). Quercetin-induced growth inhibition and cell death in nasopharyngeal carcinoma cells are associated with increase in Bad and hypophosphorylated retinoblastoma expressions. *Oncology reports*, 11(3), 727-733.
- Park, D., Jeong, H., Lee, M. N., Koh, A., Kwon, O., Yang, Y. R., ... & Ryu, S. H. (2016). Resveratrol induces autophagy by directly inhibiting mTOR through ATP competition. *Scientific reports*, 6(1), 1-11.
- Payton, F., Sandusky, P., & Alworth, W. L. (2007). NMR study of the solution structure of curcumin. *Journal of natural products*, 70(2), 143-146.
- Potdar, D., Hirwani, R. R., & Dhulap, S. (2012). Phyto-chemical and pharmacological applications of *Berberis aristata*. *Fitoterapia*, 83(5), 817-830.
- Reymond, P., & Farmer, E. E. (1998). Jasmonate and salicylate as global signals for defense gene expression. *Current opinion in plant biology*, 1(5), 404-411.
- Ross, M. (2012). The ancient drug salicylate directly activates AMP-activated protein kinase. *Kidney International*, 82, 251-252.
- Salas, J., López, J. M., Jansen, S., Zambrana, J. L., Castro, P., Paniagua, J. A., ... & Pérez, F. J. (1999). The diet rich in monounsaturated fat modifies in a beneficial way carbohydrate metabolism and arterial pressure. *Medicina clinica*, 113(20), 765-769.
- Schrör, K. (2016). *Acetylsalicylic acid*. John Wiley & Sons, 263-446.
- Semwal, R. B., Semwal, D. K., Combrinck, S., & Viljoen, A. M. (2015). Gingerols and shogaols: Important nutraceutical principles from ginger. *Phytochemistry*, 117, 554-568.
- Sharmila, G., Bhat, F. A., Arunkumar, R., Elumalai, P., Singh, P. R., Senthilkumar, K., & Arunakaran, J. (2014). Chemopreventive effect of quercetin, a natural dietary flavonoid on prostate cancer in in vivo model. *Clinical nutrition*, 33(4), 718-726.
- Sheena, A., Mohan, S. S., Haridas, N. P. A., & Anilkumar, G. (2011). Elucidation of the glucose transport pathway in glucose transporter 4 via steered molecular dynamics simulations. *PLoS One*, 6(10).
- Shen, L., Xiong, Y., Wang, D. Q., Howles, P., Basford, J. E., Wang, J., ... & Liu, M. (2013). Ginsenoside Rb1 reduces fatty liver by activating AMP-activated protein kinase in obese rats. *Journal of lipid research*, 54(5), 1430-1438.
- Shirakawa, K., Wang, L., Man, N., Maksimoska, J., Sorum, A. W., Lim, H. W., ... & Ott, M. (2016). Salicylate, diflunisal and their metabolites inhibit CBP/p300 and exhibit anticancer activity. *Elife*, 5, e11156.

- Singh S and Aggarwal BB (1995) Activation of transcription factor NF- κ B is suppressed by curcumin (diferuloylmethane) [corrected]. *J Biol Chem* 270:24995–25000
- Singh, A., Bajpai, V., Srivastava, M., Arya, K. R., & Kumar, B. (2015). Rapid screening and distribution of bioactive compounds in different parts of *Berberis petiolaris* using direct analysis in real time mass spectrometry. *Journal of pharmaceutical analysis*, 5(5), 332-335.
- Smith, B. K., Marcinko, K., Desjardins, E. M., Lally, J. S., Ford, R. J., & Steinberg, G. R. (2016). Treatment of nonalcoholic fatty liver disease: role of AMPK. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 311(4), E730-E740.
- Smith, C., & Swart, A. (2018). *Aspalathus linearis* (Rooibos)—a functional food targeting cardiovascular disease. *Food & function*, 9(10), 5041-5058.
- Sofi, F., Cesari, F., Abbate, R., Gensini, G. F., & Casini, A. (2008). Adherence to Mediterranean diet and health status: meta-analysis. *BMJ*, 337, a1344.
- Son, M. J., Minakawa, M., Miura, Y., & Yagasaki, K. (2013). Aspalathin improves hyperglycemia and glucose intolerance in obese diabetic ob/ob mice. *European journal of nutrition*, 52(6), 1607-1619.
- Suau, R., Rico, R., López-Romero, J. M., Nájera, F., & Cuevas, A. (1998). Isoquinoline alkaloids from *Berberis vulgaris* subsp. *australis*. *Phytochemistry*, 49(8), 2545-2549.
- Sun, G. Z., Meng, F. J., Cai, H. Q., Diao, X. B., Zhang, B., & Bai, X. P. (2020). Ginsenoside Rg3 protects heart against isoproterenol-induced myocardial infarction by activating AMPK mediated autophagy. *Cardiovascular diagnosis and therapy*, 10(2), 153–160. <https://doi.org/10.21037/cdt.2020.01.02>
- Tabeshpour, J., Imenshahidi, M., & Hosseinzadeh, H. (2017). A review of the effects of *Berberis vulgaris* and its major component, berberine, in metabolic syndrome. *Iranian journal of basic medical sciences*, 20(5), 557.
- Terra, X., Montagut, G., Bustos, M., Llopiz, N., Ardèvol, A., Bladé, C., ... & Blay, M. (2009). Grape-seed procyanidins prevent low-grade inflammation by modulating cytokine expression in rats fed a high-fat diet. *The Journal of nutritional biochemistry*, 20(3), 210-218.
- Tibullo, D., Volti, G. L., Giallongo, C., Grasso, S., Tomassoni, D., Anfuso, C. D., ... & Bramanti, V. (2017). Biochemical and clinical relevance of alpha lipoic acid: antioxidant and anti-inflammatory activity, molecular pathways and therapeutic potential. *Inflammation Research*, 66(11), 947-959.
- Timmers, S., de Vogel-van den Bosch, J., Towler, M. C., Schaart, G., Moonen-Kornips, E., Mensink, R. P., Hesselink, M. K., Hardie, D. G., & Schrauwen, P. (2010). Prevention of high-fat diet-induced muscular lipid accumulation in rats by alpha lipoic acid is not mediated by AMPK activation. *Journal of lipid research*, 51(2), 352–359. <https://doi.org/10.1194/jlr.M000992>
- Timmers, S., Konings, E., Bilet, L., Houtkooper, R. H., van de Weijer, T., Goossens, G. H., ... & Moonen-Kornips, E. (2011). Calorie restriction-like effects of 30 days of resveratrol supplementation on energy metabolism and metabolic profile in obese humans. *Cell metabolism*, 14(5), 612-622.
- Turner, N., Li, J. Y., Gosby, A., To, S. W., Cheng, Z., Miyoshi, H., ... & Hu, L. H. (2008). Berberine and its more biologically available derivative, dihydroberberine, inhibit mitochondrial respiratory complex I: a mechanism for the action of berberine to activate AMP-activated protein kinase and improve insulin action. *Diabetes*, 57(5), 1414-1418.
- Valls, J., Millán, S., Martí, M. P., Borràs, E., & Arola, L. (2009). Advanced separation methods of food anthocyanins, isoflavones and flavanols. *Journal of Chromatography A*, 1216(43), 7143-7172.
- Van Aller, G. S., Carson, J. D., Tang, W., Peng, H., Zhao, L., Copeland, R. A., ... & Luo, L. (2011). Epigallocatechin gallate (EGCG), a major component of green tea, is a dual phosphoinositide-3-kinase/mTOR inhibitor. *Biochemical and biophysical research communications*, 406(2), 194-199.
- Van Wyk, B. E., & Gorelik, B. (2017). The history and ethnobotany of Cape herbal teas. *South African Journal of Botany*, 110, 18-38.
- Vessby, B., Uusitupa, M., Hermansen, K., Riccardi, G., Rivellesse, A. A., Tapsell, L. C., ... & Calvert, G. D. (2001). Substituting dietary saturated for monounsaturated fat impairs insulin sensitivity in healthy men and women: The KANWU Study. *Diabetologia*, 44(3), 312-319.
- Viollet, B., Guigas, B., Leclerc, J., Hébrard, S., Lantier, L., Mounier, R., ... & Foretz, M. (2009). AMP-activated protein kinase in the regulation of hepatic energy metabolism: from physiology to therapeutic perspectives. *Acta physiologica*, 196(1), 81-98.
- Wang, H., Zhu, C., Ying, Y., Luo, L., Huang, D., & Luo, Z. (2018). Metformin and berberine, two versatile drugs in treatment of common metabolic diseases. *Oncotarget*, 9(11), 10135.
- Wang, J., Zhang, L., Dong, L., Hu, X., Feng, F., & Chen, F. (2019). 6-Gingerol, a Functional Polyphenol of Ginger, Promotes Browning through an AMPK-Dependent Pathway in 3T3-L1 Adipocytes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(51), 14056-14065.
- Wang, X. H., Zhu, L., Hong, X., Wang, Y. T., Wang, F., Bao, J. P., Xie, X. H., Liu, L., & Wu, X. T. (2016). Resveratrol attenuated TNF- α -induced MMP-3 expression in human nucleus pulposus cells by activating autophagy via AMPK/SIRT1 signaling pathway. *Experimental biology and medicine* (Maywood, N.J.), 241(8), 848–853. <https://doi.org/10.1177/1535370216637940>
- Wang, Y., Li, X., Guo, Y., Chan, L., & Guan, X. (2010). alpha-Lipoic acid increases energy expenditure by enhancing adenosine monophosphate-activated protein kinase-peroxisome proliferator-activated receptor-gamma coactivator-1alpha signaling in the skeletal muscle of aged mice. *Metabolism: clinical and experimental*, 59(7), 967–976. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2009.10.018>
- Warner, T. D., Giuliano, F., Vojnovic, I., Bukasa, A., Mitchell, J. A., & Vane, J. R. (1999). Nonsteroid drug selectivities for cyclo-oxygenase-1 rather than cyclo-oxygenase-2 are associated with human gastrointestinal toxicity: a full in

- vitro analysis. Proceedings of the National Academy of Sciences, 96(13), 7563-7568.
- Waterman, E., & Lockwood, B. (2007). Active components and clinical applications of olive oil. *Alternative medicine review*, 12(4).
- Weiskirchen, S., & Weiskirchen, R. (2016). Resveratrol: how much wine do you have to drink to stay healthy?. *Advances in Nutrition*, 7(4), 706-718.
- Woods, A., Johnstone, S. R., Dickerson, K., Leiper, F. C., Fryer, L. G., Neumann, D., ... & Carling, D. (2003). LKB1 is the upstream kinase in the AMP-activated protein kinase cascade. *Current biology*, 13(22), 2004-2008.
- Wu, N., Zheng, B., Shaywitz, A., Dagon, Y., Tower, C., Bellinger, G., ... & Kahn, B. B. (2013). AMPK-dependent degradation of TXNIP upon energy stress leads to enhanced glucose uptake via GLUT1. *Molecular cell*, 49(6), 1167-1175.
- Wu, Z., Shen, S., Jiang, J., Tan, D., Jiang, D., Bai, B., ... & Fu, S. (2015). Protective effects of grape seed extract fractions with different degrees of polymerisation on blood glucose, lipids and hepatic oxidative stress in diabetic rats. *Natural product research*, 29(10), 988-992.
- Xiao, N., Mei, F., Sun, Y., Pan, G., Liu, B., & Liu, K. (2014). Quercetin, luteolin, and epigallocatechin gallate promote glucose disposal in adipocytes with regulation of AMP-activated kinase and/or sirtuin 1 activity. *Planta medica*, 80(12), 993-1000.
- Yagasaki, K. (2014). Anti-diabetic phytochemicals that promote GLUT4 translocation via AMPK signaling in muscle cells. *Nutrition and Aging*, 2(1), 35-44.
- Yalçın, A. S., Yılmaz, A. M., AltunDAğ, E. M., & KOçtürk, S. (2017). Kurkumin, kuersetin ve çay kateşinlerinin anti-kanser etkileri.
- Yamashita, Y., Okabe, M., Natsume, M., & Ashida, H. (2012). Cacao liquor procyanidin extract suppresses hyperglycemia by enhancing glucose transporter 4 translocation and glucose uptake in skeletal muscle. *J Nutr Sci*, 1, 1-9.
- Yamashita, Y., Okabe, M., Natsume, M., & Ashida, H. (2012). Prevention mechanisms of glucose intolerance and obesity by cacao liquor procyanidin extract in high-fat diet-fed C57BL/6 mice. *Archives of biochemistry and biophysics*, 527(2), 95-104.
- Yamashita, Y., Wang, L., Nanba, F., Ito, C., Toda, T., & Ashida, H. (2016). Procyanidin promotes translocation of glucose transporter 4 in muscle of mice through activation of insulin and AMPK signaling pathways. *PLoS One*, 11(9).
- Yang, B. Y., Zhang, X. Y., Guan, S. W., & Hua, Z. C. (2015). Protective effect of procyanidin B2 against CCl4-induced acute liver injury in mice. *Molecules*, 20(7), 12250-12265.
- Yin, J., Hu, R., Chen, M., Tang, J., Li, F., Yang, Y., & Chen, J. (2002). Effects of berberine on glucose metabolism in vitro. *Metabolism-Clinical and Experimental*, 51(11), 1439-1443.
- Zamora-Ros, R., Urpi-Sarda, M., Lamuela-Raventós, R. M., Martínez-González, M. Á., Salas-Salvador, J., Arós, F., ... & PREDIMED Study Investigators. (2012). High urinary levels of resveratrol metabolites are associated with a reduction in the prevalence of cardiovascular risk factors in high-risk patients. *Pharmacological research*, 65(6), 615-620.
- Zang, M., Xu, S., Maitland-Toolan, K. A., Zuccollo, A., Hou, X., Jiang, B., ... & Cohen, R. A. (2006). Polyphenols stimulate AMP-activated protein kinase, lower lipids, and inhibit accelerated atherosclerosis in diabetic LDL receptor-deficient mice. *Diabetes*, 55(8), 2180-2191.
- Zhang, D. W., Fu, M., Gao, S. H., & Liu, J. L. (2013). Curcumin and diabetes: a systematic review. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2013.



Quadrature Spatial Pulse Amplitude Modulation and Generalized Versions for VLC

Yasin Çelik^{1*}

^{1*} Aksaray University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics, Aksaray, Turkey (ORCID: 0000-0001-8972-9970), yasincelik@aksaray.edu.tr

(First received 11 September 2020 and in final form 28 January 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.793791)

ATIF/REFERENCE: Çelik, Y. (2021). Quadrature Spatial Pulse Amplitude Modulation and Generalized Versions for VLC. *European Journal of Science and Technology*, (21), 402-409.

Abstract

Quadrature spatial modulation (QSM) is a promising technique for multiple-input-multiple-output (MIMO) systems that completely prevents inter-channel interference (ICI) and provides spatial multiplexing gain greater than spatial modulation (SM). In QSM, the information conveyed by the indices of the transmit antennas doubles thanks to the in-phase and quadrature components. In this regard, the quadrature spatial pulse amplitude modulation (QSPAM), which enables QSM for visible light communication (VLC) with the help of orthogonal pulses, is proposed in this paper. Generalized versions of QSPAM, i.e. generalized QSPAM (GQSPAM) and variable-length generalized QSPAM (VGQSPAM) have also been proposed and a well-known scheme, spatial pulse amplitude modulation (SPAM), is used as a benchmark. The proposed schemes efficiently use the spatial domain and increase spectral efficiency with fewer light-emitting diodes (LEDs). The angular diversity receiver (ADR) proposed for the channel correlation problem of indoor MIMO VLC systems is used as the receiver unit. Although ADR reduces channel correlation, it is not sufficient in the corner of the room. Therefore, a precoding matrix is generated with the help of convex optimization for demanding conditions. The bit error rate (BER) performance of considered modulation schemes is obtained through Monte Carlo simulations and, the upper bound BER performances are also derived analytically to validate these results. Additionally, spectral efficiency (SE) versus signal-to-noise ratio (SNR) graphs are obtained at a fixed symbol error rate (SER) of 10^{-5} . According to the results, VGQSPAM performs better than the other schemes and benchmarks when the channel correlation is low. However, GQSPAM outperforms VGQSPAM for harsh conditions.

Keywords: VLC, MIMO, Spatial Modulation.

Görünür Işık Haberleşmesi için Dörtlü Uzamsal Darbe Genlik Modülasyonu ve Genelleştirilmiş Versiyonları

Öz

Dörtlü uzamsal modülasyon (DUM), kanallar arası girişimi (KAG) tamamen önleyen ve uzamsal modülasyondan (UM) daha fazla çoğullama kazancı sağlayan bir modülasyon planı olarak çok-girişli çok-çıkışlı (ÇGÇÇ) sistemler için ümit verici bir tekniktir. DUM'da, verici antenlerin indisleri tarafından iletilen bilgiler, eş fazlı ve karesel bileşenler sayesinde iki katına çıkar. Bu bağlamda, bu yazıda, ortogonal darbeler yardımıyla görünür ışık haberleşmesi (GIH) için DUM'yi mümkün kılan dörtlü uzamsal darbe genlik modülasyonu (DUDGM) önerilmiştir. Bu çalışmada aynı zamanda, DUDGM'nin genişletilmiş çeşitleri olan genelleştirilmiş DUDGM (GDUDGM) ve değişken uzunluklu genelleştirilmiş DUDGM (VG DUDGM) da önerilmiştir. İyi bilinen bir modülasyon planı olan, uzamsal darbe genlik modülasyonu (UDGM) performans kıyaslaması yapmak için kullanılmıştır. Önerilen şemalar, uzamsal alanı

* Aksaray University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics, Aksaray, Turkey (ORCID: 0000-0001-8972-9970), yasincelik@aksaray.edu.tr

verimli bir şekilde kullanır ve daha az ışık yayan diyot (LED) ile spektral verimliliği artırır. İç mekan ÇGÇÇ GIH sistemlerinin kanal korelasyon problemi için önerilen açısız çeşitlenmeli alıcı (AÇA), alıcı ünite olarak kullanılmıştır. AÇA kanal korelasyonunu azaltmasına rağmen odanın köşesinde yeterli değildir. Bu nedenle, zorlu koşullar için dışbükey optimizasyon yardımı ile bir ön kodlama matrisi oluşturulmuştur. Değerlendirilen modülasyon şemalarının bit hata oranı (BHO) performansı, Monte Carlo simülasyonları yoluyla elde edilmiş ve üst sınır BER performansları da bu sonuçları doğrulamak için analitik olarak türetilmiştir. Ek olarak, spektral verimlilik (SV) ve sinyal-gürültü oranı (SGO) grafikleri, 10^{-5} sabit sembol hata oranında (SHO) elde edilmiştir. Sonuçlara göre, VGDUDGM, kanal korelasyonu düşük olduğunda diğer önerilen şemalardan ve UDGM'den daha iyi performans gösterir. Bununla birlikte, GDUDGM zorlu koşullar için VGDUDGM'den daha iyi performans göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Görünür ışık haberleşmesi (GIH), Çok-girişli çok-çıkışlı (ÇGÇÇ), Uzamsal modülasyon (UM).

1. Introduction

The use of multiple light emitting diodes (LEDs) and photo-detectors (PDs) enables multiple-input multiple-output (MIMO) techniques for visible light communication (VLC). In [1], the traditional MIMO technique, where data streams are transmitted from all antennas simultaneously, was studied for indoor VLC. This technique, which is called spatial multiplexing (SMX), increases the spectral efficiency (SE) linearly with the number of LEDs on the transmitter (Tx) side. However, the improvement of SE on the Tx side has a trade-off with inter-channel interference (ICI) on the receiver side (Rx). Furthermore, the energy efficiency (EE) of this technique is low due to multiple radio frequency (RF) chains [2].

Space modulation techniques (SMTs) have been proposed as another MIMO technology that improves the SE by transmitting additional data bits via the indices of the components of the transceiver system. In these schemes, the EE of the system is increased by limiting the number of required RF chains in a symbol period [2]. In [3], quadrature spatial modulation (QSM), which can double the information carried by the indices, was proposed as a promising SMT scheme. Interference of QSM signals is prevented due to the orthogonality between the in-phase and quadrature components. Furthermore, generalized structures were proposed to avoid the restriction in the number of Tx antennas, which should have a power of two [4]-[6].

The intensity modulation direct detection (IM/DD) technique, which uses only real and positive signals to emit data, is often used in VLC because of incoherent nature of LEDs. Since complex and negative signals are included, the QSM scheme cannot be used directly in VLC systems [7]. It can be adapted to VLC with the help of a DC signal, but the DC signal decreases the EE of the system. On the other hand, pulse modulation schemes i.e., pulse position modulation (PPM), pulse amplitude modulation (PAM) and pulse position and amplitude modulation (PPAM), are more suitable for VLC systems as they have real signals [8]-[10]. However, since they have a one-dimensional signal space, the QSM scheme cannot be enabled for VLC with these modulations.

In this paper, we propose a new QSM scheme for VLC, which we call quadrature spatial pulse amplitude modulation (QSPAM). In this scheme, two orthogonal pulses are used, each having a PAM modulation. Generalized versions of QSPAM are also proposed as generalized QSPAM (GQSPAM) and variable-length generalized QSPAM (VGQSPAM). The advantages of QSPAM and generalized versions are written as follows;

- They are applied directly to VLC with the help of orthogonal PAM signals.

- Thanks to the general SM structure, they can be implemented with a single modulation circuit. This feature increases the EE of the transceiver system.
- Spatially modulated bits are doubled in QSPAM. Therefore, the SE of the QSPAM can be given as $(\log_2(M) + 2\log_2(N_t))$ bit per channel use (bpcu) where M and N_t are the constellation size and the number of LEDs, respectively.
- GQSPAM and VGQSPAM are also use the spatial domain more efficiently. The SE of GQSPAM is written as $\log_2(M) + 2 \lfloor \log_2 \left(\frac{N_t}{N_a} \right) \rfloor$ bpcu, where $\lfloor \cdot \rfloor$ stands for ceiling operator and N_a denotes the number of active LEDs. Moreover, the SE of VGQSPAM is given as $\log_2(M) + 2(N_t - 1)$ bpcu.

2. Material and Method

2.1. System Model

In this paper, an indoor MIMO VLC system using non-coherent LEDs and an angular diversity receiver (ADR) is considered [11]. Room geometry is demonstrated in Figure 1, where ADR and room sizes are not scaled to better visualize the ADR structure. The number of LEDs is represented by N_t . At the receiver side, $N_r = 4$ PDs are placed on the ADR and the received signal vector with length $N_r \times 1$ is given as follows,

$$\mathbf{y} = \eta\rho\mathbf{H}\mathbf{W}\mathbf{x} + \mathbf{n}, \quad (1)$$

where, without losing generality, we assume that the product of the electrical-to-optical conversion coefficient (η) and the photo-detector sensitivity (ρ) is one. The noise affecting the signal at the receiver is modeled as additive white Gaussian noise (AWGN) which is independent of the transmitted signal and added to the received signal in the electrical domain [12]. Thus, each element of \mathbf{n} is a zero mean Gaussian random variable with a variance of $\sigma^2 = N_0/2$ per dimension. \mathbf{x} is the transmitted signal vector and \mathbf{W} indicates the precoding matrix with dimensions $N_t \times N_r$ described in the next section.

\mathbf{H} is the channel matrix and h_{ij} represents the respective channel coefficient of the indoor VLC link between the j^{th} LED and the i^{th} PD. These links are assumed to have non-line of sight (NLOS) components up to three reflections as well as a line of sight (LOS), so the channel coefficient, h_{ij} , is obtained as follows,

$$h_{ij} = h_{ij}^{\text{LOS}} + h_{ij}^{\text{NLOS}}. \quad (2)$$

It is assumed that the LEDs on the ceiling have a *Lambertian* emission characteristics, thus the LOS coefficient, h_{ij}^{LOS} , can be given as follows,

$$h_{ij}^{LOS} = \begin{cases} \frac{(m+1)A}{2\pi d_{ij}^2} \cos^m(\alpha_{ij}) \cos(\beta_{ij}), & \left| \frac{\beta_{ij}}{FOV} \right| \leq 1, \\ 0, & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (3)$$

the reflection of the light is diffuse. Therefore, the differential areas on the surfaces have a *Lambertian* emission pattern, as well [12]. NLOS that comes out of the j^{th} LED and reaches the i^{th} PD at the end of k reflection can be written as follows [12],

$$h_{ij}^{NLOS(k)} = \begin{cases} \Lambda_{ij}^{(1)} \Lambda_{ij}^{(2)} \dots \Lambda_{ij}^{(k+1)}, & \left| \frac{\beta_{ij}^{(k+1)}}{FOV} \right| \leq 1, \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (4)$$

here, d_{ij} is the distance in meters between the j^{th} LED and the i^{th} PD. FOV is the field of view angle of the PDs. Walls, ceilings and floors are often rough according to the light wavelength, so

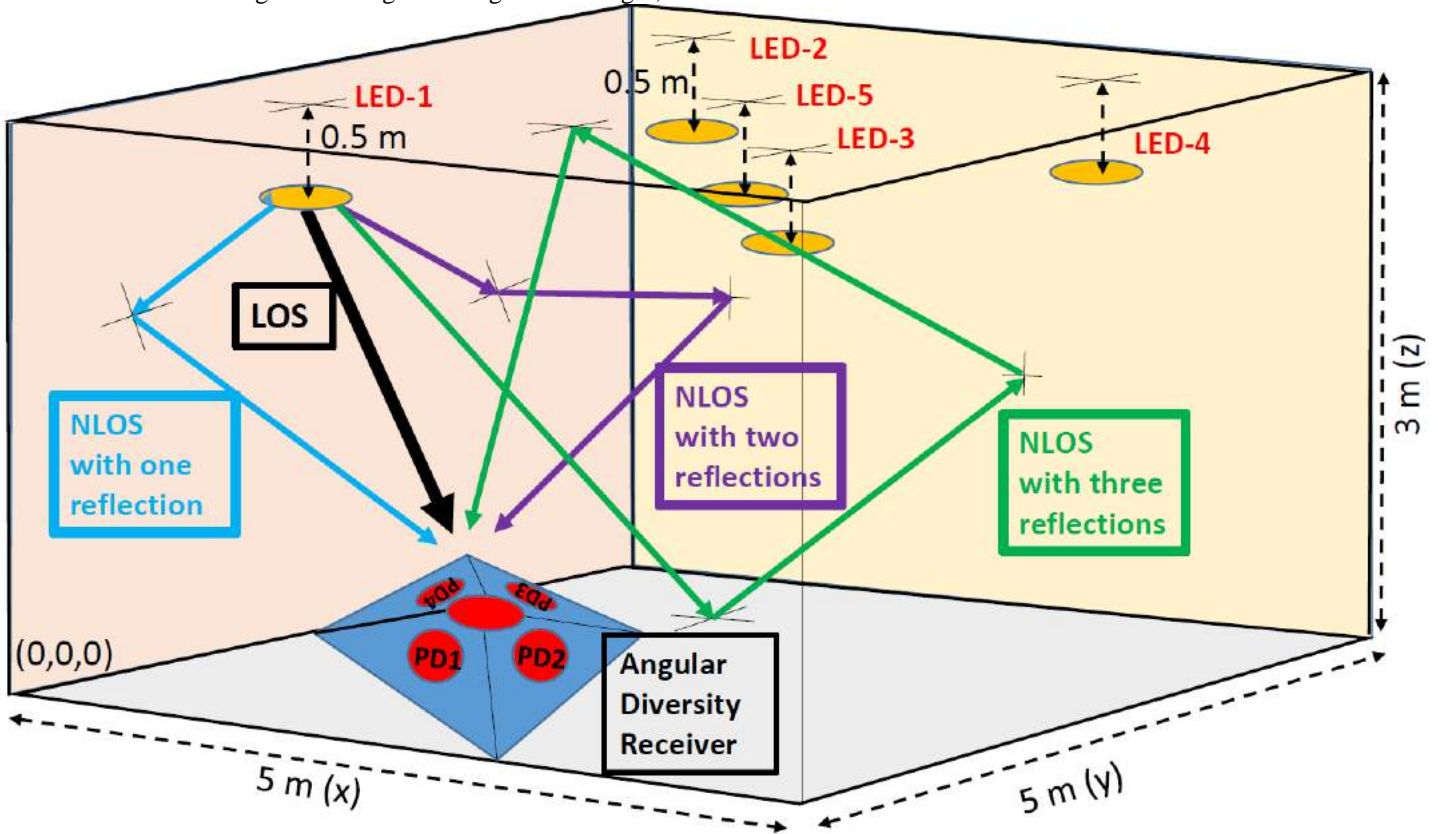


Figure 1. Room geometry with $N_t = 5$ LEDs and an ADR including LOS and NLOS link examples from LED-1.

where $\Lambda^{(n)}$, which was given in [12], is the fading coefficient of the link between $(n-1)^{\text{th}}$ and n^{th} surfaces, where *zeroth* surface is LED and $(n+1)^{\text{th}}$ surface is PD. Finally, h_{ij}^{NLOS} can be written as,

$$h_{ij}^{NLOS} = \sum_S \sum_{k=1}^3 h_{ij}^{NLOS(k)}, \quad (5)$$

where S is the set of differential areas. These areas are determined as $0.2\text{m} \times 0.2\text{m}$ square surfaces on the walls, ceiling, and floor. Thus, the set S is the interior surface area of the room. As mentioned above, these surfaces act as a *Lambert* source and reflect the intensity falling relative to the reflection coefficient. These coefficient values are assumed as in [12]. Indoor VLC channels have a large coherence bandwidth, so the system under consideration has no inter-symbol interference (ISI) and synchronization is assumed to be perfect [13]. All parameters considered in this study are given in Table 1.

The transmitted signal vector is denoted by $\mathbf{x} = [x_1 \dots x_{N_t}]^T$. Depending on the corresponding modulation i.e. QSPAM, GQSPAM, and VGQSPAM and incoming data bits, the active LEDs are determined. These modulations follow the same procedure as in [14] to identify the active LEDs.

In Fig. 2, system model for QSPAM is shown. The signal constellation consists of two-dimension is shown in Fig. 2a, so the modulated signal contains two perpendicular unipolar PAM signals. Therefore, proposed schemes have two base signals as seen in Fig. 2b. An example of bit mapping and transmitted signal for the bit stream "110001" is demonstrated in Fig. 2c and Fig. 2d, respectively.

Table 1. Parameters of the Considered VLC System

Room dimensions (XxYxZ)	5x5x3 (m)
No. of Transmitters (N_t)	4 and 5
LED distance from the ceiling	0.5 (m)
Semi-angle at half power ($\Phi_{1/2}$)	60°
Lambertian order (m)	1
ADR height from the floor	0.85 (m)
Elevation of PDs	60°
Azimuth of ADR	45°
Responsivity (R)	0.4 (A/W)
Area of a PD (A)	1x10 ⁻⁴ (m ²)
Field of view of PDs (FOV)	70°
Wall reflectivity coefficient (ρ_w)	0.8
Ceiling reflectivity coefficient (ρ_c)	0.5
Floor reflectivity coefficient (ρ_f)	0.3
Area of differential elements (dA)	0.04 (m ²)
ADR (x,y) position (Center)	{2.50, 2.50}
ADR (x,y) position (Corner)	{0.50, 0.50}
LED (x,y) positions ($N_t=4$)	{1.25, 1.25; 1.25, 3.75; 3.75, 1.25; 3.75, 3.75}
LED (x,y) positions ($N_t=5$)	{1.03, 1.03; 3.96, 1.03; 2.50, 2.50; 1.03, 3.96; 3.96, 3.96}

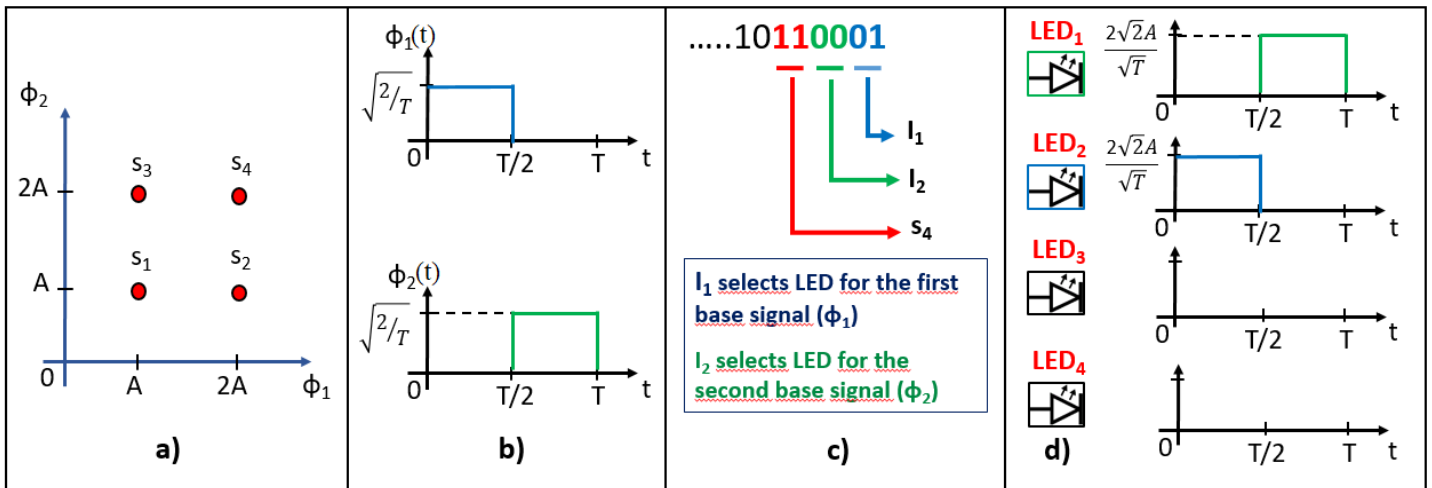


Figure 2. System model for QSPAM with 4 LEDs: a) signal constellation for $M=4$, b) base signals (ϕ_1 and ϕ_2), c) bit mapping, d) transmitted signal for the bit stream "110001".

Briefly according to I_1 and I_2 , active LEDs are determined for the schemes considered, and the symbol corresponding to the data bits is transmitted through the active LEDs. As another example, if the incoming bit stream is "011010", the first two bits (10) activate the LED3 for the base signal $\phi_1(t)$, the following two bits (10) activate the LED3 for the base signal $\phi_2(t)$ and the last two bits (01) select the symbol s_2 . An example of bit-to-active LED mapping for the QSPAM and GQSPAM schemes is shown in Table 2. In this table, 4 LEDs on the Tx

side are considered and the number of active LEDs (N_a) is selected as 2 for the GQSPAM scheme. Moreover, x_1 is the transmitted signal comprised of $\phi_1(t)$ base signal and similarly, x_2 is the transmitted signal comprised of $\phi_2(t)$ base signal. In the VGQSPAM scheme with 4 LEDs, this mapping is performed with 6 bits, where half of them select the LED or LEDs for the signal comprised of the first base signal and the other half selects the LED or LEDs for the signal comprised of the second.

Detailed information for the mapping procedure is available in [14].

Maximum likelihood (ML) receiver is considered at the receiver to obtain the transmitted signal vector, \mathbf{x} , assuming all the constellation symbols are equally likely. The noisy signal at the output of the PDs is the input of the ML detector. Thus, the estimated vector, $\hat{\mathbf{x}}$, can be written as follows,

$$\hat{\mathbf{x}} = \underset{\mathbf{x}}{\operatorname{argmin}}(\|\mathbf{y} - \mathbf{H}\mathbf{W}\mathbf{x}\|_F^2), \quad (6)$$

where F denotes the Frobenious norm. We assume that the channel state information (CSI) and precoding matrix is known at both Tx and Rx.

Table 2. Bit-to-Active LEDs Mapping for the Schemes Under Consideration ($N_t=4$).

Incoming Bits		Active LEDs							
I_1	I_2	QSPAM				GQSPAM ($N_a = 2$)			
		LED1	LED2	LED3	LED4	LED1	LED2	LED3	LED4
00	00	x_1+x_2				x_1+x_2		x_1+x_2	
00	01	x_1	x_2			x_1+x_2		x_1	x_2
00	10	x_1		x_2		x_1	x_2	x_1+x_2	
00	11	x_1			x_2	x_1	x_2	x_1	x_2
01	00	x_2	x_1			x_1+x_2		x_2	x_1
01	01		x_1+x_2			x_1+x_2			x_1+x_2
01	10		x_1	x_2		x_1	x_2	x_2	x_1
01	11		x_1		x_2	x_1	x_2		x_1+x_2
10	00	x_2		x_1		x_2	x_1	x_1+x_2	
10	01		x_2	x_1		x_2	x_1	x_1	x_2
10	10			x_1+x_2			x_1+x_2	x_1+x_2	
10	11			x_1	x_2		x_1+x_2	x_1	x_2
11	00	x_2			x_1	x_2	x_1	x_2	x_1
11	01		x_2		x_1	x_2	x_1		x_1+x_2
11	10			x_2	x_1		x_1+x_2	x_2	x_1
11	11				x_1+x_2		x_1+x_2		x_1+x_2

2.2. Precoding and Average Bit Error Rate

ADR is a compact solution proposed for the channel correlation problem of indoor MIMO VLC systems. However, it does not provide the best channel condition all over the room, especially near the corner position. Therefore, in this study, a diagonal precoder matrix, \mathbf{W} , is obtained for the channel matrix, \mathbf{H} , in order to reduce the channel correlation. The problem of optimizing the diagonal precoder matrix can be modeled as a convex optimization problem and the objective function can be written as [15],

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{w}} &= \underset{i,j}{\operatorname{argmax}} \left(\min \left(\|\mathbf{H}\mathbf{W}(\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j)\|_F^2 \right) \right), \quad i \neq j, \\ &= \underset{i,j}{\operatorname{argmax}} \left(\min \left((\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j)^H \mathbf{W}^H \mathbf{H}^H \mathbf{H} \mathbf{W} (\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j) \right) \right), \quad (7) \\ &= \underset{i,j}{\operatorname{argmax}} \left(\min(\mathbf{w}^H \mathbf{U}_{ij} \mathbf{w}) \right), \quad i \neq j, \end{aligned}$$

where \mathbf{w} is a column vector formed by diagonal of \mathbf{W} and $\mathbf{U}_{ij} = \mathbf{H}^H \mathbf{H} \odot \left((\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j)(\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j)^H \right)^T$. Here, \odot represents the Hadamard product. Finally, the *max-min* problem after convex relaxation can be written as follows [16],

$$\underset{\mathbf{w}}{\operatorname{argmax}} \quad t, \quad (8)$$

$$\text{subject to} \quad t \leq 2\mathbf{w}_k^H \mathbf{U}_{ij} \mathbf{w} - \mathbf{w}_k^H \mathbf{U}_{ij} \mathbf{w}_k, \quad i \neq j,$$

$$\|\mathbf{w}\|^2 \leq P_{max},$$

$$\mathbf{w} > 0,$$

where \mathbf{w}_k is a column vector with arbitrary initial values and P_{max} indicates a value associated with the maximum operating current of the LED. The convex optimization problem can be solved with the help of the CVX toolbox [1

ADR provides the best channel condition in the center of the room, so the precoding matrix is obtained as the identity matrix. However, correlation between the channels increases near the corner. Diagonal elements of the precoding matrices obtained for the corner position are given in Table 3, where the channel matrices are normalized with 10^{-5} .

The average bit error rate (ABER) performance of the proposed schemes are obtained by using pairwise error probability (PEP), which is given as follows

$$\begin{aligned} P(\mathbf{x}_m \rightarrow \mathbf{x}_n) &= \Pr(\|\mathbf{y} - \mathbf{H}\mathbf{W}\mathbf{x}_m\|_F^2 > \|\mathbf{y} - \mathbf{H}\mathbf{W}\mathbf{x}_n\|_F^2 \mid \mathbf{H}, \mathbf{W}), \\ &= \Pr(2\operatorname{Re}\{\mathbf{n}^H \mathbf{H}\mathbf{W}\mathbf{\Gamma}\} > \|\mathbf{H}\mathbf{W}\mathbf{\Gamma}\|_F^2 \mid \mathbf{H}, \mathbf{W}), \quad (9) \\ &= Q \left(\sqrt{\frac{\|\mathbf{H}\mathbf{W}\mathbf{\Gamma}\|_F^2}{2N_0}} \right), \end{aligned}$$

where Q-function is the tail probability of the standard normal distribution and the vector Γ represents $\mathbf{x}_m - \mathbf{x}_n$. Finally, the upper bound ABER is given as follows,

$$P_{ABER} \leq \frac{1}{\xi 2^\xi} \sum_{m=1}^{2^\xi} \sum_{n=1}^{2^\xi} P(\mathbf{x}_m \rightarrow \mathbf{x}_n) d_{mn}^T \quad (10)$$

here ξ is the SE of the proposed system which is $\log_2(MN_f^2)$ bpcu and d_{mn}^T denotes the Hamming distance between m^{th} and n^{th} code-words.

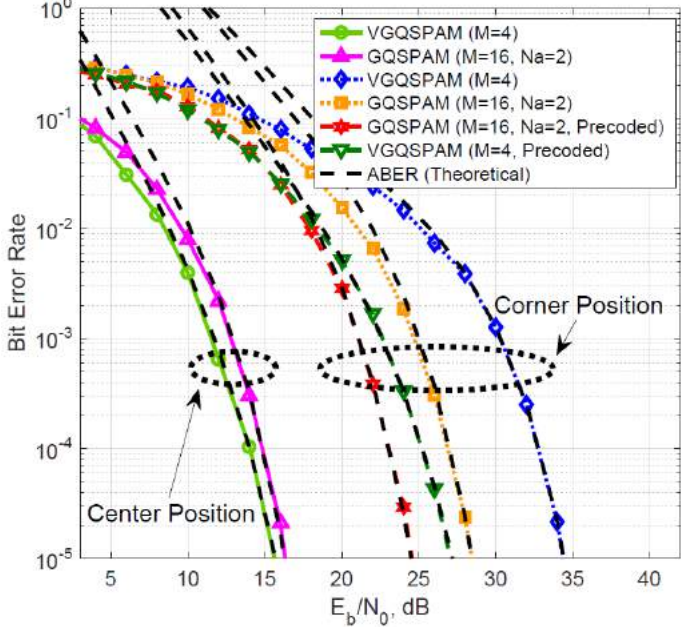


Figure 3. BER simulations and ABER theoretical results for 4 LEDs in two different Rx positions at a spectral efficiency of 4 bits/sec/Hz.

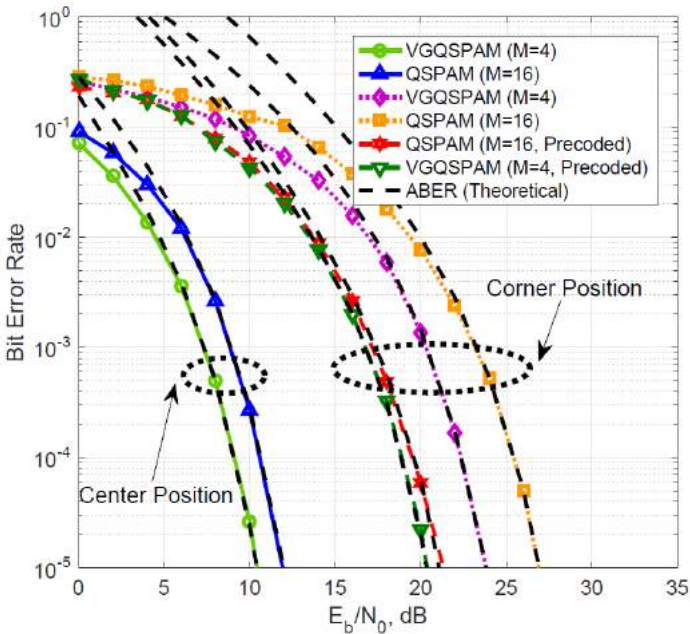


Figure 4. BER simulations and ABER theoretical results for 5 LEDs in two different Rx positions at a spectral efficiency of 5 bits/sec/Hz.

The complexity of the proposed schemes is determined by obtaining the total number of real multiplications and divisions on the receiver [14]. In the case of ML receiver, $\|\mathbf{y} - \mathbf{H}\mathbf{w}\mathbf{x}\|_F^2$ requires four real multiplications. These operations are realized N_r times and over the set of all possible \mathbf{x} vectors. Thus, the complexity of the proposed schemes is equal to $6N_r 2^{2SE}$. As a benchmark, spatial PAM (SPAM) has a receiver complexity of $2N_r 2^{SE}$ [7].

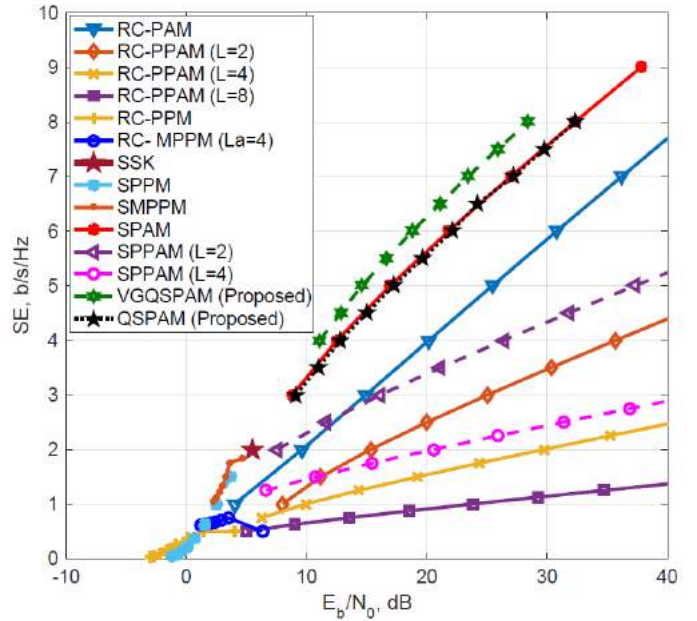


Figure 5. Required SE versus required electrical SNR for 4 LEDs at an SER value of 10^{-5} when Rx is placed in the center of the room.

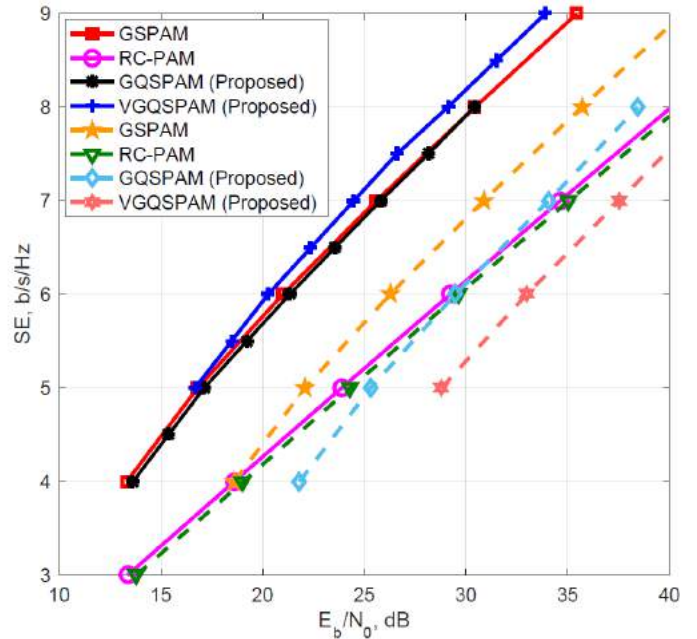


Figure 6. Required SE versus required electrical SNR for 5 LEDs at an SER value of 10^{-5} and $N_a = 2$ (Solid lines are for center position and dashed lines are for corner position).

Table 3. The Diagonals of Precoding Matrices for Corner Position.

Modulation	Precoding Vector (\mathbf{w})	Channel Matrix (\mathbf{H})
QSPAM ($N_t=4$)	[0.42 1.15 1.15 1.08]	$\begin{bmatrix} 0.78 & 0.17 & 0.17 & 0.12 \\ 0.61 & 0.16 & 0.06 & 0.05 \\ 0.30 & 0.06 & 0.06 & 0.05 \\ 0.61 & 0.06 & 0.16 & 0.05 \end{bmatrix}$
VGQSPAM ($N_t=4$)	[0.47 1.20 1.20 0.94]	$\begin{bmatrix} 0.78 & 0.17 & 0.17 & 0.12 \\ 0.61 & 0.16 & 0.06 & 0.05 \\ 0.30 & 0.06 & 0.06 & 0.05 \\ 0.61 & 0.06 & 0.16 & 0.05 \end{bmatrix}$
GQSPAM ($N_t=5$, $N_a=2$)	[0.79 1.28 1.40 0.84 0.15]	$\begin{bmatrix} 0.82 & 0.16 & 0.24 & 0.16 & 0.11 \\ 0.77 & 0.06 & 0.08 & 0.16 & 0.05 \\ 0.39 & 0.06 & 0.08 & 0.06 & 0.04 \\ 0.77 & 0.16 & 0.08 & 0.06 & 0.05 \end{bmatrix}$
VGQSPAM ($N_t=5$)	[0.90 1.20 0.14 1.08 1.20]	$\begin{bmatrix} 0.82 & 0.16 & 0.24 & 0.16 & 0.11 \\ 0.77 & 0.06 & 0.08 & 0.16 & 0.05 \\ 0.39 & 0.06 & 0.08 & 0.06 & 0.04 \\ 0.77 & 0.16 & 0.08 & 0.06 & 0.05 \end{bmatrix}$

3. Results and Discussion

3.1. Simulation Results

BER simulation results and upper bound ABER curves are shown in Fig. 3 and Fig. 4 for the proposed QSPAM, GQSPAM, and VGQSPAM schemes. The least correlated channel is obtained in the center of the room and the most correlated channel is at the corners. Therefore, two positions have been considered to achieve the best and worst BER performances. In Fig. 3, QSPAM and VGQSPAM results are presented for an indoor scenario with 4 LEDs at a SE of 4 bits/sec/Hz; GQSPAM

SE versus required electrical SNR results are presented in Fig. 5 and Fig. 6 for 4 x 4 and 5 x 4 MIMO VLC, respectively. In these figures, the symbol error rate (SER) value is considered to be 10^{-5} , and Rx is placed in two different positions. As a benchmark, well-known pulse modulation schemes, namely PAM, PPM, PPAM are considered with MIMO techniques [18-20]. Here, PPM and PPAM are poor in terms of SE due to their high bandwidth requirements and repetition coding (RC) cannot take advantage of the spatial domain. However, SPAM and generalized SPAM (GSPAM) provide significant SE performance for the considered scenarios. When Rx is placed in the center of the room, VGQSPAM outperforms SPAM and GSPAM for two different Tx setup ($N_t = 4$ and $N_t = 5$). The main reason for this is the low channel correlation. GSPAM performs better in the corner position and outperforms RC schemes at higher SE values.

4. Conclusions and Recommendations

In this letter, indoor MIMO VLC scenarios close to real conditions are designed and new quadrature spatial schemes are proposed. The proposed QSPAM scheme and its generalized versions, namely GQSPAM, VGQSPAM, efficiently use the spatial domain for MIMO VLC. VGQSPAM performs better than benchmarks in less correlated channel conditions, but VGQSPAM performance decreases with increasing correlation. Consequently, proposed schemes take advantage of the spatial domain with an increasing number of LEDs and can be a good solution for less correlated MIMO VLC systems.

is not considered in this scenario because it has the same structure as QSPAM. Due to the less correlated channel matrix, the BER performance of the schemes increases in the center of the room and precoding provides significant performance improvement for the corner position. VGQSPAM has the best BER performance for all cases in this scenario. In Fig. 4, BER results are shown for 5 x 4 indoor MIMO VLC scenario at a SE of 5 bits/sec/Hz. When the Rx is in the center position, VGQSPAM performs better than GQSPAM. However, due to the increased correlation, GQSPAM has the best performance in the corner position.

References

- [1] Zeng L., et al. 2009. High data rate multiple input multiple output (MIMO) optical wireless communications using white led lighting, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 27, 9, pp. 1654–1662. <https://doi.org/10.1109/JSAC.2009.091215>
- [2] Di Renzo, M., Haas, H., Ghayeb, A., Sugiura S., and Hanzo, L. 2014. Spatial Modulation for Generalized MIMO: Challenges, Opportunities, and Implementation, *Proceedings of the IEEE*, 102, 1, pp. 56–103. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2013.2287851>
- [3] Mesleh, R., Ikki S. S., and Aggoune, H. M. 2015. Quadrature Spatial Modulation, *IEEE Trans. Vehicular Tech.*, 64, 6 pp. 738–742. <https://doi.org/10.1109/TVT.2014.2344036>
- [4] Mesleh, R., Hiari, O., Younis, A. 2018. Generalized space modulation techniques: Hardware design and considerations, *Physical Communication*, 26, pp.87-95. <https://doi.org/10.1016/j.phycom.2017.11.009>
- [5] Castillo-Soria, F. R., Cortez-González, J., Ramirez-Gutierrez, R., Maciel-Barboza F. M., and Soriano-Equigua, L. 2017. Generalized quadrature spatial modulation scheme using antenna grouping, *ETRI Journal*, 39, 5, pp. 707-717. <https://doi.org/10.4218/etrij.17.0117.0162>
- [6] Hussein, H. S., and Elsayed, M. 2018. Fully-Quadrature Spatial Modulation, *IEEE International Black Sea Conference on Communications and Networking*

- (BlackSeaCom), Batumi, pp. 1-5. <https://doi.org/10.1109/BlackSeaCom.2018.8433718>
- [7] Celik, Y., and Colak, S. A. 2020. Quadrature spatial modulation sub-carrier intensity modulation (QSM-SIM) for VLC, *Physical Communication*, 38, pp. 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.phycom.2019.100937>
- [8] Dimitrov, S. and Haas, H. 2015. *Principles of LED Light Communications*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- [9] Barry, J. R. 1994. *Wireless Infrared Communications*, Norwell, MA Kluwer.
- [10] Islim, M. S. and Haas, H. 2016. Modulation Techniques for Li-Fi, *ZTE Communications*, 14, 2, pp. 29-40. <https://www.research.ed.ac.uk/portal/en/publications/modulation-techniques-for-lifi>
- [11] Nuwanpriya, A., et. al. 2015. Indoor MIMO visible light communications: Novel angle diversity receivers for mobile users, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 33, 9, pp.1780-1792. <https://doi.org/10.1109/JSAC.2015.2432514>
- [12] Lee, K., Park, H., and Barry, J. 2011. Indoor Channel Characteristics for Visible Light Communications, *IEEE Commun. Lett.*, 15, 2, pp. 217-219. <https://doi.org/10.1109/LCOMM.2011.010411.101945>
- [13] Fath, T. and Haas, H. 2013. Performance comparison of MIMO techniques for optical wireless communications in indoor environments, *IEEE Transactions on Communications*, 61, 2, pp. 733-742. <https://doi.org/10.1109/TCOMM.2012.120512.110578>
- [14] Mesleh, R., and Alhasssi, A. 2018. *Space Modulation Techniques*, Hoboken, NJ, USA:Wiley.
- [15] Lee, M.C., Chung, W.H., and Lee, T.S. 2015. Generalized precoder design formulation and iterative algorithm for spatial modulation in MIMO systems with CSIT, *IEEE Trans. on Comm.*, 63, 4, pp. 1230-1244. <https://doi.org/10.1109/TCOMM.2015.2396521>
- [16] Cheng, P., and et al. 2018. A unified precoding scheme for generalized spatial modulation, *IEEE Trans. on Comm.*, 66, 6, pp. 2502-2514. <https://doi.org/10.1109/TCOMM.2018.2796605>
- [17] Grant, M. and Boyd., S. 2013. CVX: Matlab software for disciplined convex programming, version 2.0 beta. <http://cvxr.com/cvx>
- [18] Zhang, H. and Gulliver, T.A. 2005. Pulse position amplitude Modulation for time-hopping multiple-access UWB communications, in *IEEE Transactions on Communications*, 53, 8, pp. 1269-1273.
- [19] Olanrewaju, H.G., Thompson, J., and Popoola, W.O. 2016. On spatial pulse position modulation for optical wireless communications, 2016 IEEE Photonics Society Summer Topical Meeting Series (SUM), pp. 44-45. <https://doi.org/10.1109/PHOSST.2016.7548717>
- [20] Alaka, S. P., Narasimhan, T., and Chockalingam, A. 2015. Generalized Spatial Modulation in Indoor Wireless Visible Light Communication, *IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, pp. 1-7. <https://doi.org/10.1109/GLOCOM.2015.7416970>



Effect of Machining on the Surface Roughness of 31CrMoV9 and 34CrAlMo5 Steels After Nitriding

Egemen Şahinoğulları¹, Hüseyin Murat Luş^{2*}

¹(ORCID: 0000-0001-6969-853X), egemensahinogullari@gmail.com

^{2*} Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Müh. Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3388-0935), mlus@yildiz.edu.tr

(First received 29 September 2020 and in final form 25 January 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.801595)

ATIF/REFERENCE: Şahinoğulları, E., Luş, H.M. (2021). Effect of Machining on the Surface Roughness of 31CrMoV9 and 34CrAlMo5 Steels After Nitriding. *European Journal of Science and Technology*, (21), 410-415.

Abstract

31CrMoV9 and 34CrAlMo5 are high-performance steels used in many industrial applications in which machines and components are exposed to high surface stresses and dynamic loads. Depending on the customer needs, these steels are first machined on CNC machines and then their surfaces are hardened by nitriding. After nitriding, grinding is needed to reduce the surface roughness values of the product according to the customer demand or the need of the production. Grinding is a chip removal process that uses an a grinding wheel as the cutting tool. However, one of the major drawback for grinding process is significant amount of processing costs. For some applications, such as pump drive shaft, it is foreseen that elimination of grinding step in workflow may reduce significantly cost item for the manufacturer. In this study, the machining parameters of hydraulic pump drive shafts produced from 31CrMoV9 and 34CrAlMo5 materials were changed before nitriding process and after nitriding no grinding process was applied and surface roughness after heat treatment was measured. In the final machining process, 54 hydraulic pump drive shaft samples made of both 31CrMoV9 and 34CrAlMo5 steel material were processed and the cutting edge moving value was used as a variable parameter. Thus, it was investigated whether it is possible to remove the grinding step after nitriding. According to the measurement results, it was observed that the surface roughness of the pump shafts made of both steel materials was negatively affected after the heat treatment, but this change was limited by changing the turning conditions. Finally, by removing the grinding process from the production process, it is aimed to shorten the total production time of the products and reduce the production cost.

Keywords: 31CrMoV9, 34CrAlMo5, Surface roughness, Machining, Turning, Nitriding.

31CrMoV9 ve 34CrAlMo5 Çeliklerinin Nitrürleme Sonrası Yüzey Pürüzlülüğüne Talaşlı İmalatın Etkisi

Öz

31CrMoV9 ve 34CrAlMo5, makine parçalarının, yüksek yüzey gerilimlerine ve dinamik yüklere maruz kaldığı birçok endüstriyel uygulamada kullanılan yüksek performanslı çeliklerdir. Müşteri ihtiyacına bağlı olarak bu çelikler önce CNC tezgahlarda işlenir ve daha sonra yüzeyleri nitrürleme ile sertleştirilir. Nitrürlemeden sonra, müşteri talebine veya üretim ihtiyacına göre ürünün yüzey pürüzlülük değerlerini düşürmek için taşlama yapılması gerekmektedir. Taşlama, kesici alet olarak bir taşlama taşı kullanan az miktarda talaş kaldırma işlemidir ve özellikle silindirik parçalar da yüzey kalitesini iyileştirmek için tercih edilir. Bununla birlikte, taşlama işleminin en büyük dezavantajlarından biri, önemli miktarda işlem maliyetidir. Bu nedenle pompa tahrik mili gibi bazı uygulamalarda, iş akışında taşlama adımının ortadan kaldırılmasının imalatçı için önemli maliyet kalemini azaltabileceği öngörülmektedir. Bu çalışmada, 31CrMoV9 ve 34CrAlMo5 malzemelerinden üretilen hidrolik pompa tahrik millerinin işleme parametreleri, nitrürleme işlemi öncesi değiştirilmiş ve nitrürleme sonrasında herhangi bir taşlama işlemi uygulanmamış ve ısı işlem sonrası yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür. Son işleme sürecinde, 31CrMoV9 ve 34CrAlMo5 çelik malzemeden yapılan 54 adet hidrolik pompa tahrik mili numunesi işlenmiş ve değişken bir parametre olarak kesici kenar ilerleme hızı kullanılmıştır. Böylece nitrürlemeden sonra taşlama adımının kaldırılmasının mümkün olup olmadığı araştırılmıştır. Ölçüm sonuçlarına göre her iki çelik malzemeden imal edilen pompa şaftlarının yüzey pürüzlülüğünün ısı işlem sonrasında olumsuz etkilendiği ancak bu değişimin dönüş koşullarının değişmesiyle sınırlı kaldığı görülmüştür. Böylece toplam üretim süresinin kısaltılması ve üretim maliyetinin düşürülmesi hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: 31CrMoV9, 34CrAlMo5, Yüzey pürüzlülüğü, Talaşlı işleme, Tornalama, Nitrürleme.

* Corresponding Author: mlus@yildiz.edu.tr

1. Introduction

31CrAlMo5 and 34CrMoV9 steels are used in the production of parts such as crankshafts, drive shafts, screws, bolts, etc. that are subject to fatigue and high pressure due to their strength properties. Most of these parts are produced by machining process, their surfaces are hardened with nitriding heat treatment to improve abrasion resistance and surface roughness values are improved by grinding process depending on customer demand. Nitriding is a heat treatment process that enables forming nitride compounds in the material with thermochemical diffusion of nitrogen into the iron in the ferrite phase as an interstitial atom, thereby increasing the hardness value and fatigue strength on the surface [1, 2]. The nitriding process was first carried out by Machlet in nitrogen environment containing hydrogen in the early 1900s and continues to be used in many industrial applications today [3,4]. Diffusion of nitrogen atoms to the steel material can be done in various ways depending on the conditions in which the nitrogen atom is provided, and gas nitriding is the leading of these methods. However, there are various sub-methods such as plasma nitriding and salt bath nitriding according to the needs of the industry [5-8].

Due to the nature of the processes, there is a certain amount of roughness on the surfaces of the machine parts after production in machining and chipless machining process. This condition, which creates irregular deviations below and above the nominal surface line, is called surface roughness [9]. Surface roughness is a parameter that can take very variable values and is specified within the specific tolerances on the part technical drawing. Even if the same surface roughness results of materials of similar type with different processes are reached, the effect on the material may be different. For this reason, the process to be applied as well as the surface roughness value of the machine parts used in the industry is specified in particular cases. Surface quality definitions are made according to the differences between the nominal profile on the workpiece and the measured values, for example the quality of a surface according to the ISO 1302 standard consists of 4 elements which are roughness, waviness, traces and errors [10,11]. Within the machining processes, the turning process includes that the workpiece is shaped by removing the chips from the surface of the workpiece during turning of the workpiece in a certain direction. The turning process directly affects the surface roughness of the workpiece with the nitriding heat treatment [12]. The surface roughness of a workpiece produced by turning is affected by many factors, which can be divided into four main categories. These are factors based on factors related to machining parameters such as feed rate, cutting speed and depth of cut, factors related to cutting tool parameters such as tool wear, tool geometry and tool material, factors resulting from machine tool conditions and finally workpiece material properties in turn [13].

In the machining process, the surface roughness quality parameters specified on the technical drawing are defined by Ra and Rz values. Here Ra is called the arithmetic average roughness value. Ra is calculated by taking the arithmetic average of the profile deviations occurring at the sampling length limits, above and below the center line, and is an important criterion that creates an idea about the surface structure of the section profile in general [14]. Ra value is important because of the accuracy of the measurement technique, low cost and because its method of

measurement does not damage the part. However, since the Ra value is a statistical, it is not affected by individual deviations, which may mean that an elevation or a pit on the surface is overlooked [15]. In the surface profile, the maximum height value on the surface measured is called Rz. In other words, Rz is the distance between the largest trough (valley) point (Rv) and the highest peak (Rp) [16].

In this research, the surface roughness value of hydraulic motor drive shafts produced with different turning parameters after heat treatment has been investigated. Figure 1 shows a typical hydraulic motor and its components. The function of hydraulic motors is to create force by means of pressure fluid and to provide controlled movement. Main examples of the usage areas of hydraulic motors are motion systems of heavy equipment, drawbridges and satellites.

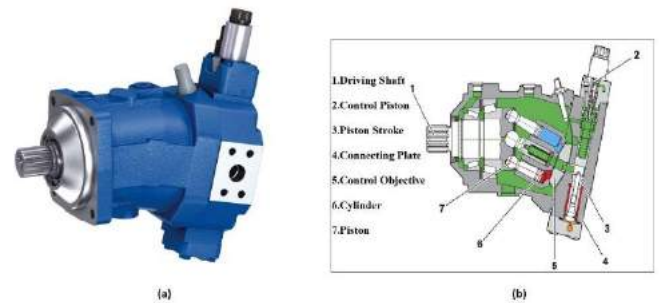


Figure 1. A typical Hydraulic motor-Bosch Rexroth (a) and variable displacement hydraulic motor image (b) [17].

In the conventional manufacturing flow chart, the surface of the hydraulic motor's drive shafts, which are produced from 31CrMoV9 and 34CrAlMo5 steels reaches a certain abrasion resistance with shaving machining, nitriding and subsequent grinding process, and the surface roughness values are also reduced to the desired level. The aim of this study is to prove that the surface roughness tolerances can be achieved by machining and optimizing the turning process parameters of the drive shaft, without the need for grinding after the nitriding process. Thus, a more cost effective drive shaft production will be possible.

2. Material and Method

2.1. Material

The samples of this experimental study were prepared in a DMG CTX Gamma 2000 TC, 5-axis CNC machine in a drive shaft manufacturing facility and have been subsequently subjected to gas nitriding. The drive shafts used in the experiments are made of 31CrMoV9 and 34CrAlMo5 forged steel materials by machining on CNC machines. In the manufacturing process, rough and final turning operations have been made on the surface of the part on the CNC machine, the process parameters have been changed in the final turning operation and no grinding operation has been applied to these parts after nitriding heat treatment. Before measuring each part, measurement control has been made with the reference gauge for calibration and control and no deviation has been encountered. In CNC machine, turning plate numbered DNMG 110408-PF 4315, belonging to Sandvik, has been used as a cutting edge.

Steels used in drive shaft production are commercially available 31CrMoV9 and 34CrAlMo5 forged steels. The chemical

composition and physical properties of the 31CrMoV9 and 34CrAlMo9 materials are specified in Table 1 and Table 2 below.

Table 1. Chemical and physical properties of 31CrMoV9 (1.8519) steel [18].

DIN EN 31CrMoV9 (40mm < d < 100mm)			
Chemical Compositon		Min. - Max. (%)	
C	Si	Mn	P
0.27-0.34	0.40	0.40-0.70	0.025
S	Cr	Mo	V
0.035	2.30-2.79	0.15-0.25	0.15-0.25
Properties			
UTS (Rm)	1000-1200	N/mm ²	
YS	Min. 800	N/mm ²	
Elongation	10	%	
Raw materials hardness	Max. 248	HB	
Hardness after nitriding	~800	HV1	

Table 2. Chemical and physical properties of 34CrAlMo5 (1.8507) steel [19].

DIN EN 34CrAlMo5 (40mm < d < 100mm)			
Chemical Compositon		Min. - Max. (%)	
C	Si	Mn	P
0.30-0.37	0.40	0.40-0.70	0.025
S	Cr	Mo	Al
0.035	1.00-1.30	0.15-0.25	0.80-1.20
Properties			
UTS (Rm)	800-1000	N/mm ²	
YS	Min. 600	N/mm ²	
Elongation	14	%	
Raw materials hardness	Max. 248	HB	
Hardness after nitriding	~950	HV1	

2.2. Turning Process and Heat Treatment

In the final turning operation, the turning plate of Sandvik company whose process type is suitable for final turning, cutting edge size and shape are DN1104, internal tangent diameter (IC) is 9,525 mm, effective cutting edge length (LE) is 10,828 mm, nose radius (RE) is 0,794 mm, coating material is CVD Ti (C, N) + Al₂O₃ + TiN, coding plate is DNMG 110408-PF 4315 that can be seen in Figure 2 is used as a cutting edge.

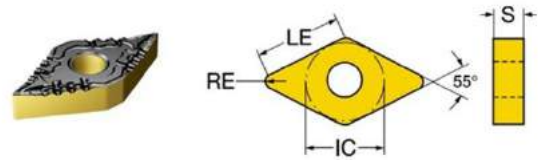


Figure 2. Sandvik DNMG 110408-PF 4315 cutting tool [20].

After the rough turning operation on the drive shaft surface, 0.1 mm chip removal is required to create the desired size and this is done as the final turning process. In the final turning operation, the part speed which is one of the parameters that will affect the surface roughness has been kept constant and the feed value of the cutting edge has been used as a variable parameter. A total of 54 samples have been processed, 27 of which are drive shafts made of 31CrMoV9 steel material and 27 of drive shafts made of 34CrAlMo5 steel materials. 3 different turning conditions were applied for every 27 drive shafts and the surface roughness of each experimental group was measured. The parameters used in turning process are given in Table 3.

Table 3. Last machining parameters used before heat treatment

	1.Group	2.Group	3.Group
Cutting Speed (m/min)	290	290	290
Cutting Tool moving speed (mm/min)	0,05	0,38	0,55
Cooling liquid pressure (bar)	6	6	6

2.2.1. Nitriding

In the nitriding process, the samples have been washed to prevent the formation of areas that have not been subjected to partial nitriding, primarily due to the oil and wastes that may remain on the samples after turning. Ammonia gas is emitted in the furnace under vacuum when the temperature inside the furnace reaches approximately 400°C - 450°C. When the ambient temperature in the furnace reaches between 480 °C - 570 °C, diffusion process of nitrogen starts on the surface and after the diffusion step is completed, controlled cooling process is applied in the furnace. Nitriding process has taken 22 hours in total. Figure 3 shows the drive shaft before entering nitriding process.



Figure 3. Drive shaft before entering nitriding process.

2.2.2. Surface Roughness Measurement

In order to remove the impurities that may occur on the material after nitriding, the parts have been washed and left to cool. At ambient temperature, R_a (μm) and R_z (μm) surface roughness measurements have been made with the Mitutoyo SJ-410 device (Figure 4). As the measurement parameters, Measuring Speed = 0,2 mm / s, Measuring Force = 0.75 mN and Tip radius = 2 μm .



(a)



(b)

Figure 4. Measured surface (a) and Surface roughness measurement- Mitutoyo SJ-410 (b).

3. Results and Discussion

Average surface roughness measurement values which are found before and after nitriding process of drive shafts made of 31CrMoV9 and 34CrAlMo5 forged steel materials are given in figure 5. Surface roughness measurements have shown that the gas nitriding process increases the surface roughness (R_a and R_z) values of the workpiece, in other words, the gas nitriding process disrupt the surface roughness. In the machining parameters, when the cutting tool feed rate is increased, the surface roughness is negatively affected. After the nitriding process of the drive shafts made of 31CrMoV9 steel, the R_a value has increased by 42.95% in the 1st test samples, 5.45% in the 2nd test samples and 6.25% in the 3rd test samples. The value of R_z for this steel increased by 57.48%, 10.62% and 7.03% respectively for the 1st, 2nd and 3rd test samples. Likewise, after the nitriding process of the drive shafts made of 34CrAlMo5 steel, the R_a value has increased by 61.02% in the 1st test samples, 11.73% in the 2nd test samples and 7.56% in the third test samples. The increase in R_z values is 44.09%, 16.30% and 10.34%, respectively.

According to the measurement values, 31CrMoV9 and 34CrAlMo5 materials have different surface roughness even if they are shaped in machining with the same parameters. However, it is observed that the deformation caused by the nitriding process has less effect on the surface roughness of the piece produced from 31CrMoV9 material compared to the piece made from 34CrAlMo5 material. According to the results obtained, in the 1st test group samples where the cutting tool feed rate is chosen the lowest, the surface roughness has the lowest values and in terms of R_a (μm) value, these test samples have N6 surface quality according to TS 2040 EN ISO 1302 standard. This value is within the tolerance of the surface quality that can be achieved with the grinding process, and has shown that in the production of hydraulic motor drive shafts; only the surface roughness values that can be achieved by grinding can be obtained.

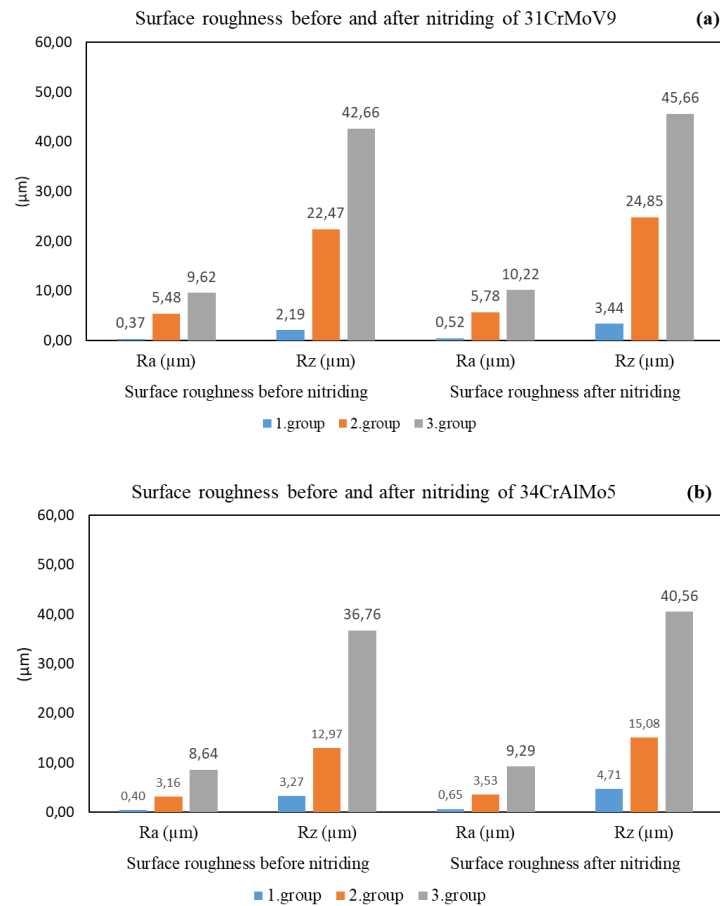


Figure 5. The effect of nitriding on average surface roughness of drive shafts made from 31CrMoV9 (a) and 34CrAlMo5 (b) steels

With the elimination of the grinding process, an important cost item will be removed, however, it can be said that the extension of the turning process will also bring an additional cost. The cost analysis has been made for a facility that is supposed to produce 125.000 drive shafts annually considering production, labor and inventory costs on average of corporate companies in Turkey. The data has been recorded in 2019. In the employee cost account, it is accepted that the grinding machine operates over 3 shifts per day, but the maintenance, repair and calibration costs of the machine are not taken into account. While calculating inventory cost, the number of parts stocked by three incumbent companies in Turkey and inventory costs has been averaged. Table 4 shows the labor costs in part production.

Table 4. Labor costs in part production

Labor Cost	
Monthly cost of a minimum wage worker	₺ 2.558,00*
Monthly cost of 3 minimum wage workers	₺ 7.674,00
Total cost over 12 months working period	₺ 92.088,00
Labor cost per piece for the production of	0,74 ₺/pcs.

*Minimum wage cost for 2019

Considering that the cost of the stones used in grinding is 18 thousand TL per piece and 3 pieces of stone are used for 125 thousand pieces annually, the annual stone cost is 54 thousand TL and the stone cost per piece is 0.43 TL. The total cost of grinding operator, stock and stone is 1.85 TL per piece. Stock cost in part production is given in table 5.

Table 5. Stock cost in part production

Stock Cost	
Average stock cost of 1 piece	₺ 170,00
Average number of parts waiting before and after machining	500 pcs.
Total stock cost	₺ 85.000,00
Cost per piece of stock for 125,000	0,68 ₺/pcs.

The turning plates used have 4 corners and the performance capacity of each corner is limited to about 80 pieces. In the turning process, as a result of decreasing the feed rate of the cutting tool, the contact time between the plate and the part has increased and the number of parts produced in the plates has decreased approximately by half according to the workflow where the grinding process is applied. Considering that 40 pieces are produced with one side of the plate instead of 80 and the cost of the cutting edge is 26 TL, there is a cost increase of 0.08 TL per piece. The total cost increase during turning has been calculated as 0.56 TL per piece. The reflection of the increase in time in the

turning process on the labor cost has been neglected. Table 6 shows Effect of time increase of machining on cost.

Table 6. Effect of time increase of machining on cost

Time Increase Cost in Turning process	
Machining time with grinding process	14,90 min.
Machining time without grinding process (with 1st exp. group parameters)	15,23 min.
Lathe Machine Hourly Cost	86,80 ₺/h.
Manufacturing time cost per piece	-0,48 ₺/pcs.

4. Conclusions and Recommendations

The grinding process accounts for approximately 25-30 percent of the cost in all machining steps [21,22]. Because of this, eliminating this step is very advantageous in terms of cost. The removal of the grinding process from the workflow by applying the appropriate turning conditions in the scope of this research brings a total cost advantage of 1.29 TL per piece. Accordingly, the overall gain in the annual production of 125,000 pieces is 161,250 TL, considering the accepted data. This result shows that manufacturing by using suitable turning parameters can provide a significant cost advantage by eliminating the grinding process.

References

- Farokhzadeh, K., Edrissy, A. Surface Hardening by Gas Nitriding. Comprehensive Materials Finishing, ed.; Hashmi S.; Elsevier: Oxford, GB, 2017; Volume 2, pp. 107-136.
- Wang, N. and Liu, J. Effect of Process Parameters on Gas Nitriding of Grey Cast Iron. Advances in Materials Science and Engineering: 2013; Volume 2013, Article ID 217848.
- Pye, D. Practical Nitriding and Ferritic Nitrocarburizing, ASM International: Materials Park, Ohio, USA, 2003.
- Machlet, A. U.S. Patent 1,092,925, 24 June 1913.
- Surface Hardening of Steels: Understanding the Basics, First edition; ed.; Davis, J.R.; ASM International: Materials Park, Ohio, USA, 2003.
- Yang, M., "Nitriding-Fundamentals, Modeling and Process Optimization", Ph.D Thesis, Worcester Polytechnic University Materials Science & Engineering, Worcester, 2012.
- Oltean, S.E., Modeling the Workpiece Heating on a Plasma Nitriding Equipment Using Neural Networks. Procedia Technology, ed.; Moldovan L.; Elsevier: Oxford, GB, 2015; Volume 19, pp. 562-568.
- Schneider, M.J., Chatterjee, M.S. Introduction to Surface Hardening of Steels. Steel Heat Treating Fundamentals and Processes: ed. Dossett J., Totten E.; ASM Handbook: USA, 2013; Volume 4A, pp. 389-398.
- Güllü, Abdulkadir, "Silindirik Taşlamada İstenen Yüzey Pürüzlülüğünü Elde Etmek İçin Taşlama Parametrelerinin Bilgisayar Yardımıyla Optimizasyonu", Ph.D. Thesis, Gazi University Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara, 1995.
- Bayrak, Mustafa, "Ç1020, Ç1040 ve 9SMnPb28 Çeliklerinin Talaşlı İşlenmesinde Yüzey Pürüzlülüğün Uzman Sistemle Hesaplanan Değerlerinin Deneysel Değerlerle Karşılaştırılması", M.S. Thesis, Gazi University Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara, 2002.
- TS 2040 EN ISO 1302, Geometrik mamul özellikleri (GMÖ) - Teknik mamul dokümantasyonunda yüzey durumlarının gösterilişi, 2005.
- Black J. T., Kohser R. A. DeGarmo's Materials and Processes in Manufacturing, 10th Edition; Wiley: New York, USA, 2007.
- Ratnam, M.M. Factors Affecting Surface Roughness in Finish Turning. Comprehensive Materials Finishing, ed.; Hashmi S.; Elsevier: Oxford, GB, 2017; Volume 1, pp. 1-25.
- Groover, M. P. Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems 4th Edition, Wiley: New York, USA, 2010.
- Aydın, İ., Çolakoğlu, G. Odun yüzeylerinde pürüzlülük ve pürüzlülük ölçüm yöntemleri. Artvin Orman Fakültesi Dergisi, 2003, 1(2), pp. 92-102.
- TS 6956 EN ISO 4287, Geometrik Mamul Özellikleri (GMÖ) – Yüzey Yapısı: Profil Metodu - Terimler, Tarifler ve Yüzey Yapısı Parametreleri, Ankara: Türk Standartları Enstitüsü, 2004.
- Bosch Rexroth, Ürün grupları. Available online: www.boschrexroth.com/en/xc/products/product-groups/mobile-hydraulics/index (accessed on 11 January 2019).
- Steel Grades, Datasheet for Steel Grades Structure Steel EN 31CrMoV9 Available online: www.steel-grades.com (accessed on 29 October 2018).
- Steel Grades, Datasheet for Steel Grades Structure Steel EN 34CrAlMo5 Available online: www.steel-grades.com (accessed on 19 November 2018).
- Sandvik Coromant, Ürünler, Available online: <https://www.sandvik.coromant.com/tr-tr/products> (accessed on 15 January 2019).
- V.N. Pi et al. An optimization of exchanged grinding wheel diameter whensurface grinding alloy tool steel 9CrSi. Materials Today: Proceedings, ed.; Singh S.K., Davim J.P., Kumar K.; Elsevier: Oxford, GB, 2019; Volume 18, Part 7, pp. 2225-2233.
- Alagumurthi, N., Palaniradja, K., Soundararajan, V. Optimization of Grinding Process Through Design of Experiment (DOE)—A Comparative Study. Materials and Manufacturing Processes: 2006, Volume 21, pp. 19-21.



İngiltere’de Yeşil Altyapı Kavramının Uygulama Örnekleri Üzerinden İrdelenmesi*

Aysun Tuna†

* Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, İzzet Baysal Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Bolu, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5365-3273 0), aysun.tuna@ibu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 22 Ekim 2020 ve Kabul Tarihi 24 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.814954)

ATIF/REFERENCE: Tuna, A (2021), İngiltere’de Yeşil Altyapı Kavramının Uygulama Örnekleri Üzerinden İrdelenmesi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 416-423.

Öz

Yeşil altyapı uygulamalarının mekânsal planlama kararları ile bütünleştirildiği ve gerçekleştirilen başarılı uygulama örnekleri ile somutlaştırıldığı İngiltere’de yayımlanan Natural England Ecotowns Bildirgesi kapsamında yeşil altyapı kavramı; yüksek kaliteli doğal ve yapılı yeşil alan sistemlerinin, mevcut habitat ve peyzaj tipleri ile etkileşimlerine ve ayırt edilebilirliğine saygı duyan ve mevcut veya yapılandırılmış ekosistem servislerinin toplumun ihtiyaç duyduğu ekolojik hizmetler ile sürdürülebilir yaşam kalitesini sağlamaya destek veren planlama ve tasarım yaklaşımı olarak tanımlanmaktadır. İngiltere’de 1970’li yıllarda ilk temelleri atılan ve bugün yapılaşma politikalarında kritik öneme sahip yeşil altyapı kavramı “*Natural England*” mottosu ile kent ve kırsal arasındaki bütüncül yaklaşımın ifadesi olarak ortaya çıkmaktadır.

Makale kapsamında; İngiltere’de yeşil altyapı kavramının kuramsal boyutu, planlama ve uygulama sürecindeki gelişim, benimsenen ilkeler, belirlenen hedefler ve elde edilen sonuçlarla kent ekosistemi için katkılarının ekolojik göstergeler ile tariflenebildiği ve yazarın da yerinde gözlemlene olanağına sahip olduğu İngiltere’de yer alan başarılı uygulama örnekleri üzerinden irdelenmiştir.

İncelenen örnekler kapsamında yeşil altyapı stratejilerinin aktif kent yaşamı içinde bütünleşmesinde uygulanan peyzaj temelli yaklaşımlar ortaya konulmuş ve Türkiye için öneriler geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yeşil altyapı, İyi uygulama örnekleri, Peyzaj temelli yaklaşım, İngiltere

Examination of Green Infrastructure Concept in UK through Practice Examples

Abstract

Within the scope of Natural England Ecotowns Declaration published in England where the green infrastructure practices are integrated with spatial planning decision and materialized with successful practice examples, the term “green infrastructure” is defined as the planning and designing approach on existing or structured ecosystem services in a manner respecting the interactions of high-quality natural and well-built green area systems with existing habitat and landscape types along with their discernibility characteristics, while also giving support for providing a sustainable quality of life through ecological services that are deemed as a need by the society. Having a crucial significance in terms of today’s structural policies and for which the first major steps were taken during 1970s in England, the term “green infrastructure” emerges as the expression of integrative approach between urban and rural through the principle of “Natural England”.

Within the scope of this article, the hypothetical dimension of the term “green infrastructure” in England, along with the development in planning and implementation process, principles adopted, targets set and the results obtained have been analyzed through successful

* Bu makale, Türkiye Peyzajları 3.Ulusal Konferansı’nda (7-9 Kasım 2019 Antalya), yazar tarafından sunulan “*Mekân Oluşturma*” ve “*Çoklu İşlevsellik*” Yeşil Altyapı İlkelerinin Uygulama Örnekleri Üzerinden Değerlendirilmesi: İngiltere Deneyimi” başlıklı sözlü bildirden geliştirilmiştir.

† Sorumlu Yazar: aysuntuna17@gmail.com

practice examples in England, where the benefits to urban ecosystem can be defined with ecological indicators and where the author had the opportunity to personally observe this process on-site.

Within the scope of the examples that are analyzed in the study, the landscape-based approaches are set forth, which are implemented for the integration of green infrastructure strategies with the active urban life-style, while, on the other hand, developing suggestions for Turkey based on this subject.

Keywords: Green infrastructure, practice example, landscape-based approach, UK.

1. Giriş

Yeşil altyapı, ekosistem değerlerini ve işlevlerini koruyan birbirleriyle bağlantılı doğal, yarı doğal ve kültürel alanların oluşturduğu bir yeşil alan ağı olarak tanımlanmaktadır (Benedict, 2002; akt: Hepcan, 2019). Yeşil altyapı, özellikle yapılaşma ve ekonomik büyüme gündemleri (özellikle Büyüme Alanları ve Büyüme Noktaları) ve kentsel alanların yenilenmesi ile ilgilidir. Buradaki yeşil altyapı, mevcut çevresel kalitenin korunması ve güçlendirilmesi ve yenilenmesi ile el ele ilerleyen kalkınma ile ilgilidir. Çevrenin planlama sürecinin tam merkezine yerleştirilmesi ve birey-flora/fauna ilişkisinde için fayda sağlayan stratejik ve bağlantılı, çok işlevli bir alan ağı oluşturulmasını kapsamaktadır.

İngiltere’de yayımlanan Natural England Ecotowns Bildirgesi (TCPA, 2008) kapsamında yeşil altyapı kavramı; yüksek kaliteli doğal ve yapılı yeşil alan sistemlerinin, mevcut habitat ve peyzaj tipleri ile etkileşimlerine ve ayırt edilebilirliğine saygı duyan ve mevcut veya yapılandırılmış ekosistem servislerinin toplumun ihtiyaç duyduğu ekolojik hizmetler ile sürdürülebilir yaşam kalitesini sağlamaya destek veren planlama ve tasarım yaklaşımı olarak tanımlanmaktadır. İngiltere’de 1970’li yıllarda ilk temelleri atılan ve bugün yapılaşma politikalarında kritik öneme sahip yeşil altyapı kavramı “*Doğal İngiltere (Natural England)*” mottosu ile kent ve kırsal arasındaki bütüncül yaklaşımın ifadesi olarak ortaya çıkmaktadır. Scott ve ark. (2017), kurumsal çerçevesi tanımlanan ve İngiltere ulusal planlama mevzuatında detaylı olarak tariflenen yeşil altyapı kavramını;

Geliştirilmiş habitatları kapsayan iyi planlanmış Yeşil Altyapı:

- Birey ve yaban hayatına fayda sağlayan erişilebilir, kaliteli peyzajlar sağlama,
- Doğal peyzajın sağlığını ve 'ekosistem hizmetleri' zenginliğini sağlama yeteneğini sürdürme ve artırma,
- Habitat parçalanmasını önleyici ekolojik bağlantıyı sağlama ve doğal çevrenin iklim adaptasyonunun artırma,
- Kıyı alanlarında rekreasyon alanı oluşturma, su kalitesini iyileştirme ve koruma sağlamaktadır.

Yeşil altyapının oluşturulması ve geliştirilmesi;

- Bireylerin doğal çevre ile doğrudan ve düzenli temastan keyif almaları için çekici ve erişilebilir yerler oluşturma,
- Kentsel alanlar ve periferindeki kırsal bölgeler arasındaki bağları güçlendirmek,
- Mahalle ölçeğinde toplumsal ve bireysel sağlıklı yaşam tarzı geliştirmeye teşvik etmek (Etkili tanıtım kampanyaları ile

hazırlanan yeşil altyapı uygulamaları ile yürüyüş ve bisiklet için yeşil yollar ve egzersiz ve oyun için yeşil alanlar sağlayarak daha sağlıklı yaşam tarzlarını desteklenebilir)

Çok işlevli bir yeşil altyapı, sürdürülebilir kalkınmayı sağlamak için yerel çevrenin kapasitesini artırabilir. Bu kapsamda;

- Su kaynaklarının verimli yönetimini desteklemektedir. Yeşil koridorlar, suyun zeminden nüfuz etmesine izin vererek taşkın olasılığını azaltır,
- Yüzey akış sularının toplanarak su depolama alanı oluşturmak
- Sürdürülebilir arazi kullanımına destek sağlamak,
- Yeşil altyapı aynı zamanda hem doğrudan (sermaye projelerinde istihdam ve gelecekteki yönetim planlaması ile) hem de dolaylı olarak (artan ziyaretçi ve ziyaretçi ekonomik çıktısı ile) bir dizi sosyal ve ekonomik fayda sağlamaktadır.

Yeşil altyapı uygulamaları gelecek için çevresel kaliteyi güvence altına almaya katkıda bulunmaktadır:

- Arazi kullanım planlamasına çok işlevli bir yaklaşımla toprağın verimli bir şekilde kullanılmasını sağlamak;
- Su, temiz hava, toprak ve biyolojik çeşitliliğin korunması gibi temel kaynakların yönetimi için işleyen ekosistemleri desteklemek,
- Toplum ve çevre bağlamında ekonomik fayda sağlamak
- Yerel gıda üretimi ve rekreasyon alanları sağlayarak toplulukların kendi kendine yeterliliğinin artırılması, şeklinde ifade etmektedir.

Avrupa Komisyonu’nun 2013 yılı itibarı ile yayınladığı “*Yeşil Altyapı-Avrupa’nın Doğal Sermayesini Geliştirmek*” adlı bildirmede; yeşil altyapı; doğanın, doğal süreçlerin ve bireylerin doğadan sağladığı birçok faydanın korunması ve geliştirilmesinin bilinçli olarak mekânsal planlama ve bölgesel kalkınmaya entegre edilmesi ilkesine dayandığı ifade edilmiştir. Komisyon, Uyum Fonu ve Avrupa Bölgesel Kalkınma Fonu (ERDF) yeşil alt yapı uygulamalarını öncelikli yatırım alanı olarak tanımlamaktadır. Yeşil altyapı uygulamalarının bölgesel politikalara entegre edilmesinde temel faydalar;

- doğal ve kültürel mirasın bölgesel sermaye ve kimliğin parçası olarak tanımak ve verimliliğini arttırmak (toprak verimliliğinin korunması, biyolojik kontrol, tozlaşma, tatlı su kaynaklarının depolanması)

- iklim değişikliğini azaltma ve iklim değişikliğine uyum (karbon depolanması ve tutulması, sıcaklık kontrolü, fırtına hasar kontrolü),

- afet önleme (erozyon kontrolü, orman yangını riskinin azaltma, taşkın tehlikesini azaltma),

- su yönetimi (su akışlarının düzenlenmesi, su arıtma, su temini),

-arazi ve toprak yönetimi (toprak erozyonun azaltılması, verimliliğin ve üretkenliğin artırılması, parçalanmanın ve sızdırmazlığın azaltılması, yüksek emlak değerleri)

- doğal sermayenin korunması (mevcut ve gelecek nesiller için habitat, tür ve genetik çeşitliliğin varlık değerleri)

- tarım ve ormancılık geliştirme (dayanıklı tarım ve ormancılık, tozlaşmanın artırılması, zirai mücadelenin güçlendirilmesi)

- düşük karbonlu ulaşım ve enerji sağlama (daha az parçalı ve iyi entegre edilmiş ulaşım sistemleri, yenilikçi enerji çözümleri)

- yatırım ve istihdam sağlama (imaj artırma, istihdam, emek verimliliği)

- sağlık ve refah artırma (egzersiz ve tesisler için erişilebilirlik, hava kalitesi ve gürültü düzenleme)

- turizm ve destinasyon olanaklarını artırma (rekreasyon olanaklarının çeşitlendirilmesi ve kapasite artırma)

-Eğitim ve sürdürülebilirliğin sağlanması (Ekosistem hizmetlerinin sürdürülebilirliği), olarak sıralanmıştır. European Commission, (2013a) (2013b).

1.1. İngiltere’de Yeşil Altyapı Planlaması /Ulusal Ölçekte Planlama ve Çevresel Politikalar

İngiltere’de yeşil altyapı yaklaşımı 1970’lere kadar dayanmaktadır. 70’lerde İngiliz planlama yaklaşımında ilk olarak yapıardan arta kalan alanları yeşil alan olarak değerlendirme “Fitted Carpet Complex ” yaklaşımı dikkat çekmektedir. Az sayıda adapte edilebilen yeşil alanlar ile yapılaşmaya dayalı koridor sisteminin oluşması ile etkin bir yeşil altyapı oluşturmada sorunların oluşması ile bu yaklaşım yerini 21.yy’da “Sürdürülebilir Drenaj Yöntemi” ne bırakmıştır. Aktif yeşil alanları biyolojik çeşitlilik, peyzaj fonksiyonelliği ve yer duygusu kapsamında planlamanın başında dahil eden doğal ve kültürel bileşenler için birleştirici ve geçirgen unsur olarak kullanmak hedeflenmiştir (Scott ve ark. (2017).

İngiltere yeşil altyapı planlamasında, Doğal Çevre Raporu (Natural Environment White Paper (NEWP; HM Government 2011), Ulusal Planlama Politikası Genel Çerçevesi (National Planning Policy Framework (NPPF; DCLG 2012) iki önemli anahtar dokümandır. Bu iki doküman temel alınarak 2017 yılında Ulusal Planlama Uygulama Kılavuzu hazırlanmış ve yürürlüğe girmiştir. (National Planning Practice Guidance (NPPG; DCLG 2017).

Doğal Çevre Raporu (NEWP) HM Hükümeti'nin bir yayını olarak, mekansal planlama politikalarının genel hatlarının oluşturulduğu, tüm kurumlar için bağlayıcı olan temel bir dokümandır. NEWP, yeşil alt yapı kavramını, “ulusal ekolojik ağdaki bağlantıları” tamamlama rolü ve “sel ve sıcak dalgaları gibi çevresel riskleri yönetmede en etkili araçlardan biri” olarak tanımlamaktadır. Kent ile ülke arasında ekolojik köprü olma ve aynı zamanda yerel ekonomik büyüme ve yenileme kapsamında yeşil altyapının kritik rolüne dikkat çekilmektedir.

NEWP dokümanının yayınlanması ile birlikte, Şehir ve Ülke Planlama Derneği (TCPA) başkanlığında yaklaşık 1000'in

üzerinde paydaş grubu ile gönüllü bir Yeşil Altyapı Ortaklığı kurulmuştur. Hedefleri, ekolojik ağları güçlendirmek ve toplulukların sağlığını, yaşam kalitesini ve iklim değişikliğine karşı direncini iyileştirmek için yeşil altyapının nasıl geliştirilebileceğini planlamaktır. Bu sivil inisiyatif, haber bültenleri ve etkinlikler aracılığıyla araştırma, yenilik, haber ve en iyi uygulamaların paylaşılması yoluyla planlama ve çevre kurumları arasındaki boşluğu kapatmaya yardımcı olmaktadır. Doğal çevre raporu; doğal sermayenin önemi, yeşil alt yapı bileşenlerine ve bu doğal sermaye stoklarından kaynaklanan ekosistem hizmetlerine açık atıflarda bulunduğundan kurumlar içinde Doğal Sermaye Komitesi'nin kurulmasını sağlamıştır.

Ulusal Planlama Politikası Genel Çerçevesi (NPPF) 2012 yılında Doğal Çevre Raporu temel alınarak hazırlanmıştır. Dokümanda sürdürülebilir kalkınma ağırlıklı olarak vurgulanmaktadır. NPPF (2012) , Yeşil Altyapı kavramını; “Yerel topluluklar için geniş bir çevre ve yaşam kalitesi faydaları sunabilen, kentsel ve kırsal çok fonksiyonlu yeşil alan ağı” olarak tanımlamaktadır. Daha geniş sağlık ve yaşam kalitesi gündemiyle bağlantı, mekânsal planlama teorisinin doğasında var olan sektörel entegrasyon hakkında daha geniş fikirlerle bağlantısı olması bakımından önemlidir.

NPPF, kapsamında Yeşil Altyapı Uygulamaları anahtar stratejileri belirlenmiştir. Bunlar;

- İşbirliği: Ulusal düzeyde tanımlanan planlama yaklaşımlarının yerel düzeyde efektif, kalıcı olarak uygulanabilirliğinin tespiti için ilgili birimlere hak ve sorumlulukların verilmesi

- Uygulanabilirlik-Finansal Kapasite: Yerel makamların yerel plan politikalarının kümülatif yükünü değerlendirmeleri, finansal destekler (fonlar, vergi indirimleri, yerel yönetim bütçeleri) planlamanın uygulanabilirlik durumunun saptanmasıdır.

Kabul edilen çerçeve planda, İngiltere'nin tüm planlarının, hükümet tarafından atanan planlama denetçileri tarafından yönetilen sürecinin bir parçası olarak yerine getirilmesi yasal bir gerekliliktir. NPPF; geliştirilen mevcut planlama kararlarının %70 ve üzeri oranında yeşil altyapı bileşenleri ve ekolojik bağlantılılık konuları ile ilgili çözümler ve uygulama yöntemlerinin belirtilmiş olmasını önermektedir. Mevcut planlama kararları işbirliği sağlanan otoritelerin yetkili uzmanlarınca notlandırılarak karar istişareleri yöntemi ile ortak karar doğrultusunda onaylanmaktadır.

Ulusal Planlama Uygulama Kılavuzu, Ulusal Planlama Politikası Genel Çerçevesi'nin önemli bir tamamlayıcısıdır. Temelde rehber, NPPF üst ölçekte geliştirilen planlama stratejilerini öncelik sıralaması yaparak alt ölçekte uygulama kararlarının gerçekleştirilmesinde rehberlik eden web tabanlı bir portaldır. Web tabanlı portalda Yeşil Alt yapı Uygulama Rehberi (Natural England's Green Infrastructure Guidance) adlı açık erişim rehberinde yeşil altyapıya ilişkin uygulama stratejileri açıklanmıştır. NPPG'de NPPF'de tanımlanan ekosistem servislerinin uygulamada hangi fonksiyonlarla tanımlanabileceğini detaylı olarak ortaya konmaktadır. Yeşil Alt yapı Uygulama Rehberi sadece yerel otoritelerce değil, özel ve sivil inisiyatiflerce de yeşil altyapı uygulamalarında yol gösterici niteliğindedir.

Ulusal Planlama Uygulama Kılavuzunda, yeşil altyapı kavramı, “Yeşil altyapı, bireyler, toplum, ekonomi ve çevre için

doğal sistemlerden ve süreçlerden türetilen çeşitli ölçeklerde ekosistem hizmetleri başta olmak üzere birçok fayda sağlar. Bu faydaların sağlandığından emin olmak için yeşil altyapının iyi planlanması, tasarlanması ve sürdürülmesi gerekir” şeklinde ifade edilmektedir. Kılavuzda bu ifadeden yola çıkılarak yeşil altyapının kavramsal yapısındaki çoklu işlevsellik ve mekan oluşturma yeşil altyapı stratejileri öne çıkmaktadır. Mekân oluşturma ya da diğer bir tanımla mekânı biçimleme, yeşil altyapı planlama sürecinde mekânların ayırt edici özelliklerini tanımlamak (yerel karakter, geleneksel yaşam kültürü vb) ve bu farklılıklara göre politikaların belirlenmesi fonksiyonlarını içermektedir.

Mekan oluşturma ve Çoklu işlevsellik: Mekanların karakterlerini ve ayırt edici özelliklerini tanımlamak ve bu mekanlara özgü stratejileri geliştiren politikaların belirlenmesi olarak tanımlanmaktadır. Kavramın merkezinde mekânın bileşenleri olan kent sistemlerinin (mahalle, cadde, kamusal alanlar vb.) yaşam kalitelerinin artırılması ve yönetiminde yaşayan sakinlerin algıları, yaşayış ve davranış şekilleri, toplumsal değerleri ile şekillenen kimlik olgusu yer almaktadır (Natural England’s Green Infrastructure Guidance, 2017). Temel bileşen olarak mekân oluşturma; Avrupa Peyzaj Sözleşmesinin peyzaj tanımındaki peyzajların çoklu işlevselliği ve arazi kullanım planlamasındaki “bütünleştirici araç” tanımı ile yeşil altyapı yaklaşımının ana kesitinde örtüştüğü görülmektedir. Kılavuzda, 'Çoklu işlevsellik', yeşil altyapı kavramı ve yaklaşımının merkezinde yer almaktadır. Geniş bir ekosistem hizmeti sunmak için yeşil altyapının çeşitli fonksiyonlara sahip olma potansiyelini ifade etmektedir. Çoklu işlevsellik, bağlantı mekânı (alanı) ve bağlantı elemanları ile geçerlilik kazanmaktadır. Birlikte ele alındığında çok işlevli bir yeşil alt yapı ağı elde edilmiş olunur (Scott ve ark. (2017).Yeşil altyapı kavramının bu süreçte, alanın peyzaj karakteri, yerel değerleri ile bütünlük sağlayan tasarım ilkelerinin oluşturulmasına, tasarım ve uygulama sürecinde topluluk katılım fırsatlarının sağlanmasında kilit rol oynadığı söylenilebilir.

Ulusal Planlama Uygulama Kılavuzunda, yeşil altyapının sağlayacağı ekonomik, çevresel ve sosyal faydaları uygulamalarda hayata geçirecek temel ilkeler; erişim-rekreasyon- aktivite sağlama, habitat sağlama ve doğaya erişim, enerji üretimi ve korunumu, üretken peyzajlar oluşturma, sel kontrollü ve azalımı sağlama, iklim dengeleme başlıkları olarak belirlenmiştir. Belirlenen temel ilkeler çerçevesindeki politika öncelikleri Tablo 1’de aktarılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Çalışmanın materyalini İngiltere’de yeşil altyapı planlamasının kuramsal temelini oluşturan Doğal Çevre Raporu (Natural Environment White Paper), Ulusal Planlama Politikası Genel Çerçevesi (National Planning Policy Framework ve Ulusal Planlama Uygulama Kılavuzu, dokümanları ile Ulusal Planlama Uygulama Kılavuzu ile web tabanlı olarak ilişkilendirilen Yeşil Altyapı Uygulama Rehberi (Natural England’s Green Infrastructure Guidance) adlı açık erişim rehberi oluşturmaktadır.

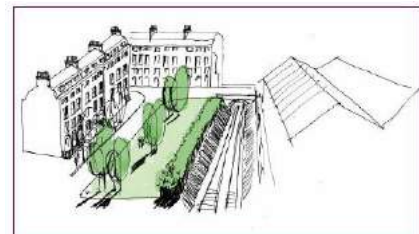
İngiltere’de yeşil altyapı kavramının kuramsal boyutu, planlama ve uygulama sürecindeki gelişim, benimsenen ilkeler, belirlenen hedefler ve elde edilen sonuçlarla kent ekosistemi için

katkılarının ekolojik göstergeler ile tariflenebildiği ve yazarın da yerinde gözleme olanağına sahip olduğu İngiltere’de yer alan başarılı uygulama örnekleri de çalışmanın gözlemlenebilen materyalini oluşturmaktadır. İyi uygulama örneklerinin seçiminde uygulamanın sosyal, çevresel ve ekonomik katkılarının ölçülebildiği ve ödüllendirildiği uygulamaların olması kriter olarak belirlenmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. İngiltere’deki Yeşil Altyapı İyi Uygulama Örnekleri

Arundel Meydanı (Islington-LONDRA): Erişim, Rekreasyon, Aktivite Sağlama yeşil altyapı bileşenine örnek olarak gösterilebilecek uygulama, mevcutta 19. yüzyıla ait demiryolu hattı bulunan erişim hattının 21. yüzyılda oluşturulan yeşil alan sistemini dönüştürülmesini içermektedir. Georgian konutlarından oluşan yerleşim alanı, 19. yy’da kurulan sanayi yapıları ve Kuzey Londra demiryolu hattı ile çevrelenmektedir (Natural England’s Green Infrastructure Guidance, 2017). Konutlar ve demiryolu hattı arasında küçük ölçekli bir kamusal alan bulunmaktaydı. Sanayi yapılarının yıkılması ile kentsel gelişim alanı olarak ilan edilen bölgede bölgesel ölçekte planlanan yeşil alt yapı uygulamalarının ilk ayağı olarak gerçekleştirilmiştir. Kullanılmayan demiryolu hattının üzeri doldurularak ve diğer erişim bağlantıları geliştirilerek büyük ölçekli kamusal yeşil alan oluşturulması hedeflenmiştir (Natural England’s Green Infrastructure Guidance, 2017). Bu alan bölge için planlanan yeşil alt yapı sisteminin bir omurgası olarak işlev görmektedir (Şekil 1). Meydan işlevi gören yeni üretilen kamusal alanda, sert zemin ve çatı elamanı üzerinde sulama ihtiyacı fazla olmayan küçük ağaç, çalı ve otsu türler kullanılmıştır. Proje kapsamında mevcut ağaçlara zarar vermeyecek yeni türlerin adaptasyonu için uygun yetiştirme teknikleri içeren bir Toprak Yönetim Planı hazırlanmıştır. (Natural England’s Green Infrastructure Guidance, 2017). Gerçekleştirilen bu uygulama; en iyi peyzaj tasarım kategorisinde Housebuilder ödülüne layık görülmüştür.



Şekil 1. Arundel Meydanı'nın geliştirilmesinde somutlaştırılmış ilkelerin şematik çizimleri (Natural England’s Green Infrastructure Guidance, 2017)

Tablo 1. Yeşil Altyapı Bileşenleri ve Planlama Öncelikleri (Natural England’s Green Infrastructure Guidance, 2017)

PLAN ÖNCELİKLERİ								
	Ekonomik	Çevresel				Sosyal		
	Ekonomik büyüme ve istihdam	Kültürel Mirasın Korunması ve Geliştirilmesi	Doğal peyzaj değerlerinin korunması ve geliştirilmesi	Biyçeşitliliğin korunması ve geliştirilmesi	İklim değişikliğinin azaltılması ve adaptasyon	Sürdürülebilir ulaşım (bireysel ulaşımı azaltma)	Topluluk uyumu ve yaşam boyu öğrenme gönüllülük	Sosyal dayanışma ve yaşamboyu öğrenme bilinci sağlama
Erişim- rekreasyonaktivite sağlama								
Habitat sağlama ve doğaya erişim								
Enerji üretimi ve korunumu								
Üretken peyzajlar oluşturma								
Sel kontrollü ve azalımı sağlan								
İklim dengeleme								

Markey Yeşil yolu ve Sazlık Alanı, (Herdfordshire) : Erişim, Rekreasyon, Aktivite Sağlama yeşil altyapı bileşenine örnek olarak gösterilebilecek diğer uygulama, İngiltere'nin doğu bölgesinde yer alan Herdfordshire Kontluğu Markey Yeşil yolu ve Sazlık Alanı, Sustrans Rotası'nın bir parçasını içeren, yeşil seyahat hedeflerine katkıda bulunan Mardyke vadisinde 3,3 km'lik bir köprü yolunu kapsamaktadır (Şekil 2). Yeşil Altyapı Uygulama Programı kapsamında ayrıca on bir sazlık yatağının iyileştirilmesi korunan türlerin devamlılığının sağlanması için ekolojik restorasyon faaliyetleri yürütülmüştür. Proje, Topluluklar ve Yerel Yönetimler programı kapsamında EEDA ve Heritage Lottery Fund tarafından finanse edilmiştir ve aynı zamanda Güney Essex Green Grid'in bir bölümünün bir kısmını kapsamaktadır. Uygulama sonrası etki değerlendirmesi yapıldığında, YA'nın ekonomik faydaları bağlamında, Natural Economy North West'in araştırması, artan verimlilik ve artan ziyaretçi yoğunluğu ve çevrede sağlanan istihdam olanakları açısından, yeşil altyapı ve gelişmiş yeşil alan düzenlemesinin doğrudan ve dolaylı faydaları olduğu saptanmıştır (Land Use Consultants, 2011). Benzer şekilde, AMION ve ECOTEC24 tarafından yapılan araştırmalar, çevresel sektörün sağladığı istihdam olanakları ve arazi ve mülk değerlerinde potansiyel artışı ile ilgili olarak yeşil altyapı uygulamalarının ekonomik değerini göstermektedir (Land Use Consultants, 2011).

Stort Vadisi (Near Langley/ESSEX): Habitat Sağlama, Doğaya Erişim yeşil altyapı bileşenine örnek olarak gösterilebilecek uygulama, İngiltere'deki Stort Vadisi için, patikalar, bilgilendirme üniteleri ve habitatların geliştirilmesi dahil olmak üzere öncelikli yeşil altyapı projelerinin bir parçası olarak toprak sahipleri ile birlikte çalışma prensibine dayalıdır. Stort Valley projesi, yurt içi ve yurt dışı paydaşlarla entegre çalışma için önemli bir örnek teşkil etmektedir. Uygulama sonrası etki değerlendirmesi olarak, Ekolojik Ağ (EcoNet) yaklaşımı ile sürdürülen uygulamada, bölgede habitatları güçlendirme potansiyeli ve iklim değişikliğindeki parçalanma konusundaki kırılma noktalarını azaltma etkileri tespit edilmiştir. TEN (Ulusötesi Ekolojik Ağ) projesi, PPS9'da politika desteği verilen bu proje

bütüncül bir mekânsal planlama örneğidir. Londra Kalkınma Ajansı tarafından üstlenilen çalışmalar, yeşil altyapının, yaşam alanlarını kalkınmanın etkilerinden tampon alan oluşturma sistemi ile yürütüldüğünü göstermektedir (Landuse Consultants, 2011b)

Şekil 2. Mardyke Vadisi Mevcut ve Yeşilyol Sistemi (Landuse Consultants, 2011a)

Urban Science Building



Newcastle University/ New Castle Upon Tyne): Enerji üretimi ve korunumu yeşil altyapı bileşenine örnek olarak gösterilebilecek uygulama, Kent Bilim Binası verilebilir. Newcastle Üniversitesi'ne bağlı kampüs, 1200 öğrenci, 55 akademik personel, 120 post doktora araştırmacı kapasiteli olup, 12800 m2. oturma alanına sahiptir (Newcastle Helix, 2012). Akıllı (yeşil) bina olarak tasarlanan eğitim binası PV-T dizisinin yılda 33.000 kWh / yıl elektrik ve termal enerji üretmektedir (Newcastle Helix, 2012). CO2 tasarrufu, 19,798 kg / yıl olarak öngörülmektedir. 560 m2 doğal bitki türleri ile oluşturulmuş yeşil çatı tasarlanmıştır. Geri dönüşüm tesisi (Projeden elde edilen inşaat atıklarının % 99,2'si geri dönüştürülmüştür) kampüs içinde yer almaktadır (Newcastle Helix, 2012). Ekolojik malzeme kullanımı planlanmış olup, sert zemin malzemeleri olarak kireç taşı

kullanılmıştır (Şekil 3-4-5). Newcastle Lord Mayor'ın Sürdürülebilirlik Tasarım Ödülü ile sürdürülebilir drenajda en iyi uygulama kapsamında CEEQUAL Ödülü'ne layık görülmüştür.

Şekil 3. Newcastle Üniversitesi Kent Bilimleri Binası (URL 1)

Şekil 4-5. Kent Bilimleri Binası Yağmur Bahçesi, (Orijinal, 2019)

Ouseburn Çiftliği (Newcastle Upon Tyne): Üretken peyzajlar oluşturma yeşil altyapı bileşenine örnek olarak gösterilebilecek uygulama Newcastle Upon Tyne kent merkezinde ana trafik aksının bulunduğu alanda 1970 yılında kurulan kent çiftliğidir



(Şekil 6-7-8). İçinde barındırdığı flora ve fauna ile birlikte kent peyzajına ekosistem servisi olarak hizmet vermektedir. Birçok farklı hayvan çiftlikleri ile çok sayıda sera yapılarının bulunduğu çiftlik gönüllü bağışlar, sponsor destekleri ile ihtiyaçları karşılanmaktadır. Ek olarak birçok farklı yaş grubu için eğitim ve aktivite hizmetleri sunmaktadır. Northern Marketing Ödülü, Chartered Institute of Public Relations (CIPR) PRide North East Ödülü'ne layık görülmüştür (Newcastle City Council, 2018).

Hamptons Konutları (The Hamptons/Peterborough): Sel kontrolü ve azalımı sağlama, Su kaynakları Yönetimi yeşil altyapı bileşenine örnek olarak gösterilebilecek uygulama 8000 konutluk yerleşim alanı Peterborough kentine bağlı Hampstons ilçesinde kullanılmayan bir kil çukuru içinde (Orton Pit) (Koruma ve bilimsel çalışma alanı olarak ilan edilmiş) ilçenin kuzey ve

Great



güneyinde uygulanmış Fen peyzaj projesinin

bağlantılılığını oluşturan yeşilaltyapı sistemine sahip yerleşim alanıdır (Şekil 9-10). Birleşik Krallık yönetimi ve özel sektör aktörleri ile yürütülen çalışmada temel ilke olarak sürdürülebilir drenaj yönetimi temel ilkesi benimsenmiştir. Oxford-Cambriedge Gelişim Arkı içinde yer alan yerleşim alanı birçok istihdam

olanakları sağlamaktadır. (Natural England's Green Infrastructure Guidance, 2017) (Peterborough City Council, 2018).

Şekil 6-7-8. Quseburn Kent Çiftliği(URL 2)



Şekil 9-10-11. Hamptons Konut Alanı (URL 3)

Pop-up Park (Grey Caddesi / Newcastle Upon Tyne): İklim dengeleme, soğutucu etki yeşil altyapı bileşenine örnek olarak gösterilebilecek uygulama, Geordie Jackpot finansmanlığında Newcastle kentinin en yoğun caddesi olan Grey Street'de oluşturulan park alanıdır. Bu park alanı içinde güneşlenme oturma elemanları ile doğal bitki türleri ile oluşturulmuş bitki cepleri bulunmaktadır (Şekil 12-13-14-15). Yaya akışı ve dolayısıyla sert zemin döşemenin yoğun olduğu bu alanda oluşturulan bitkisel alan kent meydanında ekosistem servisi olarak işlev görmektedir. Parkın uygulama finansörü, Geordie Jackpot Newcastle NE1 Ltd.



tarafından kurulan şans oyunu platformudur. Şans oyununda kazanılan ödüller ve vergiler ile kamusal alanlar oluşturulmasına destek sağlanmaktadır.





Şekil 12-13-14-15 Grey Caddesindeki Pop-up parkı (Orijinal, 2019)

4. Sonuç

Çalışma kapsamında; yeşil altyapı kavramının ulusal planlama mevzuatlarına entegre edildiği ve uygulanması ile yükümlü tutulduğu ve bölgesel kalkınma aracı olarak tariflendiği İngiltere ölçeğinde yeşil altyapı planlama ve uygulama mevzuatının kavramsal gelişimi, izlenen politikalar ile mevcut yeşil altyapı iyi uygulama örnekleri incelenmiştir. Elde edilen bulgular kapsamında; İngiltere'deki yeşil altyapı uygulamalarının kazanımları;

1. Sağlıklı doğal çevre oluşturma;
 - Doğal peyzaj kaynak değerlerinin rekreasyon faaliyetlerini karşılama ve yaban hayatının adaptasyon gücünü artırma,
 - Biyoçeşitliliği koruyarak iklim dirençli ekosistemler ve habitatlar oluşturma,
 - Sulak alan peyzajını koruma ve güçlendirme uygulamaları
2. Bireylere doğa koruma bilincini aşılama;
 - Yaşam kalitesinin artırımı için insan ve çevre ilişkisini anlatma (yerinde eğitim programları)
 - Koruma temelli sivil hareketler
 - Mahalle ölçeğinde ekolojik park uygulamaları
3. Doğal çevrenin sürdürülebilir kullanımına katkı sağlama;
 - Sosyal ve ekonomik gelişim için arazi kullanımı,
 - Sulak alan yönetimine olanak sağlama
4. Doğal çevrenin gelecekteki durumunu kolektif güvence altına alma;
 - Yeşil altyapı yönetim kararları; yerel, bölgesel, ulusal ve uluslararası düzeyde
 - Oluşabilecek potansiyel sorunların tespiti ve stratejik çözüm önerileri geliştirme
 - İklim değişikliği kapsamında doğal çevrenin direncini artırma, şeklinde tespit edilmiştir.

İngiltere'de yeşil altyapı uygulamalarındaki başarının temelinde; ülke-kent-kır ölçeklerinde peyzajın fonksiyonelliğinin bütüncül planlama yaklaşımı ile ele alınması, sürecin yasal mevzuatlarla tanımlanarak güvence altına alınması ve planlama, uygulama sürecine halkın katılımının sağlanması bulunmaktadır.

Yeşil altyapı kavramının Türkiye ölçeğinde içselleştirmenin ön koşulu ise, yeşil alt yapı plan ve tasarımlarının geliştirilmesine ilişkin sürecin yasal mevzuatlarla güvence altına alınmasıdır.

Türkiye'de mekansal planlamanın temelini oluşturan 3194 sayılı İmar Kanunu'nun 14.06.2014 tarih ve 29030 sayılı "Mekânsal Planlar Yapım Yönetmeliği" ile "On dört İlde Büyükşehir Belediyesi ve Yirmi Yedi İlçe Kurulması ile Bazı Kanun ve Kanun Hükmünde Kararnamelerde Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun" incelendiğinde yeşil altyapı kavramının mekansal planlama ölçeğine entegre edilmesinde önemli sorunların olduğu görülmektedir. Bu sorunların başında üst ölçekte planlama stratejilerinin alt ölçeklere adapte edilememesi, uygulamalarda net tanımlanmayan kavramlarda oluşan boşluklar, sistematik veri temini ve yönetimi eksikliği ile holistik ve hiyerarşik planlama sürecinin yanlış ya da hatalı işleyişi olarak tanımlanabilir. Diğer taraftan Türkiye'de 8 Nisan 2017 tarihinde yürürlüğe giren Stratejik Çevresel Değerlendirme Yönetmeliği, yeşil altyapı için tek başına yetersiz ancak umut vaat eden önemli bir gelişmedir. Stratejik Çevresel Değerlendirme Yönetmeliği'nin uygulanması ile; doğal varlıkların korunması, geliştirilmesi ve kirliliğinin önlenmesi, özellikle planlama ve karar alma süreçlerinde çevresel etkilerin en erken aşamada değerlendirilmesi ve planlama süreçlerine halkın etkin katılımının sağlanması hedeflenmektedir (Dikmen, 2019).

Sonuç olarak, ilgili mekansal planlama kurum kuruluşları ve belediyeler arasında yetki tanımlaması ve organizasyon yapısının oluşturulması ve bu yapı içerisinde ekolojik temelli mekansal analizler yapabilecek, sonuçları planlama ve tasarım boyutuna taşıyabilecek yetkin teknik personellerle (Demiroğlu ve ark. 2019) çalışılması kritik öneme sahiptir.

Kaynakça

- Benedict M A, McMahon E.T. (2002). Green infrastructure: smart conservation for the 21st century, *Renewable Resources Journal*, 20(3): 12-17 pp.
- Demiroğlu, D., Karadağ, A.A. & Cengiz, A.E. (2019). Türkiye'de Yeşil Alt Yapı Sisteminin Uygulanabilirliği Üzerine Bir Değerlendirme, *PEYZAJ - Eğitim, Bilim, Kültür ve Sanat Dergisi* 2 (2019) 12-21.
- Dikmen, A.Ç., (2019). Stratejik Çevresel Değerlendirme (SÇD) Yönetmeliği'nin Türkiye'nin Çevre Politikasına Katkısı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 535-541
- European Commission, (2013a): Green Infrastructure (GI) Enhancing Europe's Natural Capital. COM(2013) 249 final, Brussels, 6.5.2013. Çeviri: DKM, 2019. https://www.dogavesehirler.org/uploads/yesilaltyapi_web_04.pdf
- European Commission, (2013b): Commission Staff Working Document. Technical information on Green Infrastructure (GI) Brussels, 6.5.2013. SWD(2013) 155 final. Çeviri: DKM, 2019 (çevrimiçi) URL <https://www.dogavesehirler.org/yayinlar>
- Hepcan, C.Ç. (2019). Knetlerde İklim Değişikliği ile Mücadele İçin Yeşil Altyapı Çözümleri, İklim Değişikliği Eğitim Modülleri Serisi 12, İklim Değişikliği Alanında Ortak Çabaların Desteklenmesi Projesi (İklimIN), Ankara
- Landuse Consultants, (2011a). GreenArc Strategic Green Infrastructure Plan (with Hertfordshire), Final Repot, Greenarc Partnership, UK.
- Landuse Consultants, (2011b). East Herts Green Infrastructure Plan, Final Report, East Herts Council, UK
- Natural Environment White Paper, (NEWP; HM Government 2011) <https://www.gov.uk/government/publications/natural-environment-white-paper-implementation-updates> Erişim Tarihi 17.05.2020.

- National Planning Policy Framework (NPPF; DCLG 2012)
<https://www.gov.uk/government/publications/national-planning-policy-framework--2> Erişim Tarihi 17.05.2020.
- National Planning Practice Guidance NPPG; DCLG 2017)
<https://www.gov.uk/government/collections/planning-practice-guidance>, Erişim Tarihi 17.05.2020.
- Newcastle City Council, (2018). Green Infrastructure Delivery Framework, UK.
https://www.newcastle.gov.uk/sites/default/files/planning/green_infrastructure_delivery_framework_final_2019.pdf
- Newcastle Helix, (2012).
- Peterborough City Council, 2018. Peterborough Green Infrastructure and Biodiversity Draft SPD Consultation Sustainable Growth Strategy, Peterborough, UK.
<https://democracy.peterborough.gov.uk/documents/s33339/12.%20Appendix%201%20%20Peterborough%20Green%20Infrastructure%20and%20Biodiversity%20Supplementary%20Planning%20Document.pdf>.
- TCPA, (2008) .Town and Contry Planning Association, London.
<https://www.tpa.org.uk/Handlers/Download.ashx?IDMF=7dd58905-bf59-4fcc-8b84-c03c5fa9e9ae>
- Scott, A., Hölzinger, O., Sadler, J., 2017. Making Plans for Green Infrastructure in England: Review of National Planning and Environmental Policies and Project Partners' Plans. Northumbria University & University of Birmingham.
- URL 1.
<https://www.ncl.ac.uk/media/wwwnclacuk/sciencecentral/files/newcastle-university-urban-sciences-building.pdf>,
Erişim Tarihi 10.09.2020.
- URL 2. <https://www.ouseburnfarm.org.uk>, Erişim Tarihi 17.09.2020.
- URL 3, <http://www.ohampton.co.uk/about-the-hamptons/index.html> Erişim Tarihi 17.09.2020.



Helix Surfaces in Euclidean 3-Space with Density

Ahmet Kazan^{1*}, Sema Kazan²

^{1*} Malatya Turgut Özal University, Doğanşehir Vahap Küçük Vocational School, Dept. of Computer Technologies, Malatya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1959-6102), ahmet.kazan@ozal.edu.tr

² İnönü University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Mathematics, Malatya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8771-9506), sema.bulut@inonu.edu.tr

(First received 23 September 2020 and in final form 13 January 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.798542)

ATIF/REFERENCE: Kazan, A. & Kazan, S. (2021). Helix Surfaces in Euclidean 3-Space with Density. *European Journal of Science and Technology*, (21), 424-427.

Abstract

The differential geometry of helix curves and helix hypersurfaces in different spaces has important application areas in many disciplines. Also, the notion of weighted manifold is become to be a very popular topic for scientists in recent years. In this context, after defining the notions of weighted mean curvature (or φ -mean curvature) and weighted Gaussian curvature (or φ -Gaussian curvature) of an n-dimensional hypersurface on manifolds with density, lots of studies have been done by differential geometers in different spaces with different densities. So, in the present study, firstly we give the normal vector field, mean curvature and Gaussian curvature of a helix surface in three dimensional Euclidean space and after that, we obtain the weighted mean curvature and weighted Gaussian curvature of a helix surface generated by a unit speed planar curve in three dimensional Euclidean space with different three densities by stating the parametric equation of this surface. However, we know that a hypersurface is weighted minimal and weighted flat in Euclidean 3-space with density if the weighted mean curvature and the weighted Gaussian curvature vanish, respectively. So, by using these definitions, we obtain the weighted minimal helix surfaces for these different densities and give some results for weighted flatness of the helix surfaces in Euclidean 3-space. We hope that, this study will bring a new viewpoint to differential geometers who are dealing with constant angle surfaces and in near future, one can handle these surfaces in different spaces with another densities.

Keywords: Helix hypersurface, Weighted mean curvature, Space with density.

Yoğunluklu Öklidyen 3-Uzayında Helis Yüzeyleri

Öz

Farklı uzaylarda helis eğrilerinin ve helis hiperyüzeylerinin diferensiyel geometrisi, birçok bilim dalında önemli uygulama alanlarına sahiptir. Ayrıca, ağırlıklı manifold kavramı son yıllarda bilim insanları için çok popüler bir konu olmaya başlamıştır. Bu bağlamda, yoğunluklu manifoldlar üzerinde n-boyutlu bir hiperyüzeyin ağırlıklı ortalama eğriliği (veya φ -ortalama eğriliği) ve ağırlıklı Gaussian eğriliği (veya φ -Gaussian eğriliği) kavramları tanımlandıktan sonra, farklı yoğunluğa sahip değişik uzaylarda diferensiyel geometriciler tarafından pek çok çalışma yapılmaktadır. Bu sebeple, biz de bu çalışmada, ilk olarak Öklidyen 3-uzayında bir helis yüzeyinin normal vektör alanını, ortalama eğriliğini ve Gaussian eğriliğini verdik ve ardından üç farklı yoğunluğa sahip üç boyutlu Öklidyen uzayında birim hızlı bir düzlemsel eğri tarafından oluşturulan bir helis yüzeyinin, parametrik denklemini ifade ederek, ağırlıklı ortalama eğriliğini ve ağırlıklı Gaussian eğriliğini elde ettik. Bununla birlikte, biliyoruz ki yoğunluklu Öklidyen 3-uzayında bir hiperyüzey ağırlıklı minimal ve ağırlıklı flatır, eğer sırasıyla ağırlıklı ortalama eğriliği ve ağırlıklı Gaussian eğriliği sıfır oluyorsa. Dolayısıyla, bu tanımları kullanarak, Öklidyen 3-uzayında bu farklı yoğunluklar için ağırlıklı minimal helis yüzeyleri elde ettik ve bu yüzeylerin ağırlıklı flatlığı için bazı sonuçlar verdik. Umuyoruz ki, bu çalışma sabit açılı yüzeyler ile ilgilenen diferensiyel geometricilere yeni bir bakış açısı kazandıracak ve yakın gelecekte değişik yoğunluklara sahip farklı uzaylarda bu yüzeyler ele alınabilecektir.

Anahtar Kelimeler: Helis hiperyüzeyi, Ağırlıklı ortalama eğrilik, Yoğunluklu uzay.

* Corresponding Author: ahmet.kazan@ozal.edu.tr

1. Introduction

It is known that, if the tangent space of a submanifold of \mathbb{R}^n makes a constant angle with a fixed direction ξ , then it is a helix. So, Ψ is called a helix hypersurface with respect to a unit vector field $\xi \neq 0$ in \mathbb{R}^n , if for each $q \in M$, the angle function $\phi \in [0, \pi)$ between ξ and TqM is constant [7,10]. According to this definition, lots of studies have been done by differential geometers about helix hypersurfaces. For instance in [10], the author has determined all helix surfaces with parallel mean curvature vector field which are not minimal or pseudo-umbilical in $M^n(c) \times \mathbb{R}$, where $M^n(c)$ is a simply connected n-manifold with constant sectional curvature c . In [20], some special curves on helix hypersurfaces have been studied and in [5], the authors have studied helix surfaces with parallel mean curvature vector in Euclidean spaces. Minimal helix submanifolds of any dimension and codimension immersed in Euclidean space has been investigated and the result of "A ruled minimal helix submanifold is a cylinder." has been proved in [8]. For further studies about helix hypersurfaces, we refer to [9,15,18,21] and etc.

Furthermore, the notion of weighted manifold is become to be a very popular topic for scientists in recent years. The weighted mean curvature (or ϕ -mean curvature) of an n-dimensional hypersurface on manifolds with density e^ϕ has been introduced by Gromov as

$$H_\phi = H - \frac{1}{n-1} \frac{d\phi}{dN'} \tag{1}$$

where \mathcal{N} is the normal vector field and H is the mean curvature of the hypersurface [11]. Also, the notion of weighted Gaussian curvature (or ϕ -Gaussian curvature) of an n-dimensional hypersurface on manifolds with density e^ϕ is introduced as

$$K_\phi = K - \Delta \phi, \tag{2}$$

where Δ is the Laplacian operator and K is the Gaussian curvature of the hypersurface [6].

It is said that, a hypersurface is weighted minimal and weighted flat if the weighted mean curvature and weighted Gaussian curvature vanish, respectively. After defining these notions, lots of studies have been done in different spaces with different densities by giving important characterizations for some types of curves and surfaces (for instance, [1-4,6,12-14,16,17,19] and etc).

In the present study, firstly we give the parametric expression of a helix surface generated by a unit speed planar curve in Euclidean 3-space and get the mean and Gaussian curvatures of it. After that, we find the weighted mean curvature and weighted Gaussian curvature of this helix surface in E^3 with densities e^x , e^{x+y} and $e^{x^2+y^2+z^2}$ separately and give some characterizations for their minimality and flatness.

2. Helix Surfaces in E^3

In this section, we'll give the normal vector field, mean curvature and Gaussian curvature of a helix surface in Euclidean 3-space E^3 .

We know that, if $\gamma: I \subset \mathbb{R} \rightarrow E^3$, $s \rightarrow \gamma(s)$ is a unit speed planar curve in E^3 , then

$$\Psi: U \subset E^2 \rightarrow E^3$$

$$(s, v) \rightarrow \Psi(s, v) = \gamma(s) + v(\sin\phi.N(s) + \cos\phi.B) \tag{3}$$

is a helix surface with direction B . Here, ϕ is constant and the binormal vector B is a constant vector which is vertical to plane of the curve γ [21]. Also, for the unit speed planar curve $\gamma(s) = (\gamma_1(s), \gamma_2(s), 0)$, we have

$$(\gamma_1'(s))^2 + (\gamma_2'(s))^2 = 1 \tag{4}$$

and

$$T(s) = (\gamma_1'(s), \gamma_2'(s), 0),$$

$$N(s) = (-\gamma_2'(s), \gamma_1'(s), 0), \tag{5}$$

$$B(s) = (0, 0, 1),$$

where T , N and B are tangent vector, principal normal vector and binormal vector of γ , respectively.

Thus, using (5) in (3), the helix surface generated by unit speed planar curve $\gamma(s) = (\gamma_1(s), \gamma_2(s), 0)$ can be written as

$$\Psi(s, v) = (\gamma_1(s) - v\gamma_2'(s)\sin\phi, \gamma_2(s) + v\gamma_1'(s)\sin\phi, v\cos\phi). \tag{6}$$

For this surface, from (4) and (6), we have

$$\Psi_s \times \Psi_v = ((\gamma_2'(s) + v\gamma_1''(s)\sin\phi)\cos\phi,$$

$$(v\gamma_2''(s)\sin\phi - \gamma_1'(s))\cos\phi,$$

$$\sin\phi + v\sin^2\phi(\gamma_1''(s)\gamma_2'(s) - \gamma_1'(s)\gamma_2''(s))) \tag{7}$$

and

$$\|\Psi_s \times \Psi_v\| = \frac{\gamma_1'(s) - v\sin\phi\gamma_2''(s)}{\gamma_1'(s)}. \tag{8}$$

So, from (7) and (8), we obtain the normal vector field of the helix surface (6) as

$$\mathcal{N} = \frac{\Psi_s \times \Psi_v}{\|\Psi_s \times \Psi_v\|} = (\gamma_2'(s)\cos\phi, -\gamma_1'(s)\cos\phi, \sin\phi). \tag{9}$$

Also, from (4) and (6), we have the coefficients of first fundamental form as

$$E = \langle \Psi_s, \Psi_s \rangle = (1 - v\sin\phi \frac{\gamma_2''(s)}{\gamma_1'(s)})^2, F = \langle \Psi_s, \Psi_v \rangle = 0, G = \langle \Psi_v, \Psi_v \rangle = 1 \tag{10}$$

and the coefficients of second fundamental form as

$$L = \langle \Psi_{ss}, \mathcal{N} \rangle = \frac{-\gamma_1'(s)\gamma_2''(s)\cos\phi + v\sin\phi\cos\phi(\gamma_2''(s))^2}{(\gamma_1'(s))^2}, M = \langle \Psi_{sv}, \mathcal{N} \rangle = 0,$$

$$N = \langle \Psi_{vv}, \mathcal{N} \rangle = 0. \tag{11}$$

Hence, from (10) and (11), we obtain the mean curvature and Gaussian curvature of the helix surface generated by unit speed planar curve $\gamma(s) = (\gamma_1(s), \gamma_2(s), 0)$ as

$$H = \frac{GL - 2FM + EN}{2(EG - F^2)} = -\frac{\gamma_2''(s)\cos\phi}{2(\gamma_1'(s) - v\sin\phi\gamma_2''(s))} \tag{12}$$

and

$$K = \frac{LN - M^2}{EG - F^2} = 0, \tag{13}$$

respectively.

Remark 1. We note that, the author has found the normal vector field, mean curvature and Gaussian curvature of helix surface (3) as

$$\mathcal{N} = -\cos\phi N + \sin\phi B, H = \frac{1}{2} \left(\frac{k_1 \cos\phi}{1 - k_1 v \sin\phi} \right), K = 0,$$

respectively [21]. Obtaining the first curvature of unit speed planar curve $\gamma(s) = (\gamma_1(s), \gamma_2(s), 0)$, one can see that these equations are equivalent to (9), (12) and (13) which have been obtained by us for the parametric expression of a helix surface stated by (6).

3. Main Results

In this section, we'll give some characterizations for helix surface (6) in Euclidean 3-space with different densities. Throughout this section, we suppose that, $c_i \in \mathbb{R}, (i = 1,2,3, \dots)$.

3.1. Helix Surfaces in E^3 with Different Densities

Firstly, let we assume that the density is e^x .

In this case, from (1), (9) and (12), the weighted mean curvature of helix surface (6) generated by unit speed planar curve $\gamma(s) = (\gamma_1(s), \gamma_2(s), 0)$ is obtained as

$$H_\varphi = H - \frac{1}{2} \langle \nabla \varphi, \mathcal{N} \rangle = - \frac{\cos \phi}{2(\gamma_1'(s) - v\gamma_2''(s)\sin\phi)} \{ \gamma_2''(s) + \gamma_2'(s)(\gamma_1'(s) - v\gamma_2''(s)\sin\phi) \}. \quad (14)$$

So, we have

Theorem 1. *If*

- i) $\phi = \frac{\pi}{2}$ or
- ii) $\gamma_1(s) = \pm s + c_1$ and $\gamma_2(s) = c_2$ or
- iii) $\phi = \arcsin\left(\frac{\gamma_1'(s)\gamma_2'(s) + \gamma_2''(s)}{v\gamma_2''(s)\gamma_2'(s)}\right) (= \text{constant})$,

then the helix surface (6) generated by unit speed planar curve $\gamma(s) = (\gamma_1(s), \gamma_2(s), 0)$ is weighted minimal in E^3 with density e^x .

Proof. When the above assumptions (i), (ii) and (iii) satisfy, we get $H_\varphi = 0$ in the equation (14). Since a surface is weighted minimal if weighted mean curvature vanishes, the proof completes. ■

Hence, using these assumptions in the parametric expression of the helix surface (6), we can state the following corollary:

Corollary 1. *Weighted minimal helix surfaces generated by unit speed planar curve $\gamma(s) = (\gamma_1(s), \gamma_2(s), 0)$ in Euclidean 3-space with density e^x can be parametrized by*

$$\Psi(s, v) = (\gamma_1(s) - v\gamma_2'(s), \gamma_2(s) + v\gamma_1'(s), 0), \quad (15)$$

$$\Psi(s, v) = (\pm s + c_1, \pm v\sin\phi + c_2, v\cos\phi), \quad \phi \neq \frac{\pi}{2} \text{ or} \quad (16)$$

$$\Psi(s, v) = \left(\gamma_1(s) - \frac{\gamma_1'(s)\gamma_2'(s) + \gamma_2''(s)}{\gamma_2''(s)}, \gamma_2(s) + \frac{(\gamma_1'(s))^2\gamma_2'(s) + \gamma_1'(s)\gamma_2''(s)}{\gamma_2''(s)\gamma_2'(s)}, v \sqrt{1 - \left(\frac{\gamma_1'(s)\gamma_2'(s) + \gamma_2''(s)}{v\gamma_2''(s)\gamma_2'(s)}\right)^2} \right). \quad (17)$$

Also, from (2) and (13), the weighted Gaussian curvature of helix surface (6) generated by unit speed planar curve $\gamma(s) = (\gamma_1(s), \gamma_2(s), 0)$ in Euclidean 3-space with density e^x is

$$K_\varphi = K - \Delta \varphi = K = 0. \quad (18)$$

Since a surface is weighted flat if weighted Gaussian curvature vanishes, it is obvious that,

Corollary 2. *The helix surface (6) generated by unit speed planar curve $\gamma(s) = (\gamma_1(s), \gamma_2(s), 0)$ is weighted flat in Euclidean 3-space with density e^x .*

The following figures show the weighted minimal helix surfaces (15), (16) and (17), respectively, for $\gamma_1(s) = s, \gamma_2(s) = s^2, c_1 = 3, c_2 = 1$ and $\phi = \frac{\pi}{6}$.

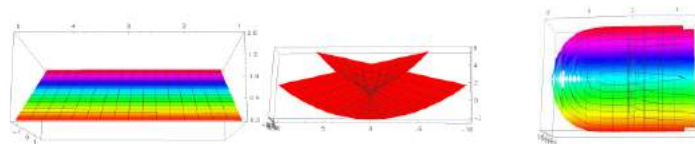


Figure 1

Now, let we assume that the density is e^{x+y} .

In this case, from (1), (9) and (12), the weighted mean curvature of helix surface (6) generated by unit speed planar curve $\gamma(s) = (\gamma_1(s), \gamma_2(s), 0)$ is obtained as

$$H_\varphi = - \frac{\cos \phi}{2(\gamma_1'(s) - v\gamma_2''(s)\sin\phi)} \{ \gamma_2''(s) + (\gamma_2'(s) - \gamma_1'(s))(\gamma_1'(s) - v\gamma_2''(s)\sin\phi) \}. \quad (19)$$

Thus, we have

Theorem 2. *If*

- i) $\phi = \frac{\pi}{2}$ or
- ii) $\gamma_1(s) = \pm \frac{s}{\sqrt{2}} + c_3$ and $\gamma_2(s) = \pm \frac{s}{\sqrt{2}} + c_4$ or
- iii) $\phi = \arcsin\left(\frac{(\gamma_1'(s))^2 - \gamma_2''(s) - \gamma_1'(s)\gamma_2'(s)}{v\gamma_2''(s)(\gamma_1'(s) - \gamma_2'(s))}\right) (= \text{constant})$,

then the helix surface (6) generated by unit speed planar curve $\gamma(s) = (\gamma_1(s), \gamma_2(s), 0)$ is weighted minimal in E^3 with density e^{x+y} .

Proof. If the above assumptions (i), (ii) and (iii) satisfy, we get $H_\varphi = 0$ in the equation (19). From the definition of weighted minimal surface, the proof completes. ■

Therefore, from Theorem 2, we get

Corollary 3. *Weighted minimal helix surfaces generated by unit speed planar curve $\gamma(s) = (\gamma_1(s), \gamma_2(s), 0)$ in Euclidean 3-space with density e^{x+y} can be parametrized by*

$$\Psi(s, v) = (\gamma_1(s) - v\gamma_2'(s), \gamma_2(s) + v\gamma_1'(s), 0) \text{ or} \quad (20)$$

$$\Psi(s, v) = \left(\pm \frac{s}{\sqrt{2}} \mp \frac{v}{\sqrt{2}} \sin\phi + c_3, \pm \frac{s}{\sqrt{2}} \pm \frac{v}{\sqrt{2}} \sin\phi + c_4, v\cos\phi \right), \quad \phi \neq \frac{\pi}{2} \text{ or} \quad (21)$$

$$\Psi(s, v) = \left(\gamma_1(s) - \frac{(\gamma_1'(s))^2\gamma_2'(s) - \gamma_2''(s)\gamma_2'(s) - \gamma_1'(s)\gamma_2''(s)}{\gamma_2''(s)(\gamma_1'(s) - \gamma_2'(s))}, \gamma_2(s) + \frac{(\gamma_1'(s))^3 - \gamma_1'(s)\gamma_2''(s) - (\gamma_1'(s))^2\gamma_2'(s)}{\gamma_2''(s)(\gamma_1'(s) - \gamma_2'(s))}, v \sqrt{1 - \left(\frac{(\gamma_1'(s))^2 - \gamma_2''(s) - \gamma_1'(s)\gamma_2'(s)}{v\gamma_2''(s)(\gamma_1'(s) - \gamma_2'(s))}\right)^2} \right). \quad (22)$$

From (2) and (13), the weighted Gaussian curvature of helix surface (6) generated by unit speed planar curve $\gamma(s) = (\gamma_1(s), \gamma_2(s), 0)$ in Euclidean 3-space with density e^{x+y} is

$$K_\varphi = K = 0.$$

Thus,

Corollary 4. *The helix surface (6) generated by unit speed planar curve $\gamma(s) = (\gamma_1(s), \gamma_2(s), 0)$ is weighted flat in Euclidean 3-space with density e^{x+y} .*

Finally, let we assume that the density is $e^{x^2+y^2+z^2}$.

In this case, from (1), (9) and (12), the weighted mean curvature of helix surface (6) generated by unit speed planar curve $\gamma(s) = (\gamma_1(s), \gamma_2(s), 0)$ is obtained as

$$H_\phi = -\frac{\cos\phi}{2(\gamma_1'(s)-v\gamma_2''(s)\sin\phi)}\{\gamma_2''(s) + 2(\gamma_1'(s) - v\gamma_2''(s)\sin\phi)(\gamma_1(s)\gamma_2'(s) - \gamma_1'(s)\gamma_2(s))\}. \quad (23)$$

So, we have

Theorem 3. *If*

i) $\phi = \frac{\pi}{2}$ or

ii) $\gamma_1(s) = c_5s + c_6$ and $\gamma_2(s) = c_7s + c_8$, where $(c_5)^2 + (c_7)^2 = 1, c_6c_7 = c_5c_8$ or

iii) $\phi = \arcsin\left(\frac{\gamma_2''(s)+2\gamma_1(s)\gamma_1'(s)\gamma_2'(s)-2(\gamma_1'(s))^2\gamma_2(s)}{2v\gamma_2''(s)(\gamma_1(s)\gamma_2'(s)-\gamma_1'(s)\gamma_2(s))}\right)$ (=constant),

then the helix surface (6) generated by unit speed planar curve $\gamma(s) = (\gamma_1(s), \gamma_2(s), 0)$ is weighted minimal in E^3 with density $e^{x^2+y^2+z^2}$.

Proof. If the assumptions (i), (ii) and (iii) satisfy, then we get $H_\phi = 0$ in the equation (23). So, the helix surface is weighted minimal if these assumptions satisfy. ■

Hence, from Theorem 3, we get

Corollary 5. *Weighted minimal helix surfaces generated by unit speed planar curve $\gamma(s) = (\gamma_1(s), \gamma_2(s), 0)$ in Euclidean 3-space with density $e^{x^2+y^2+z^2}$ can be parametrized by*

$$\Psi(s, v) = (\gamma_1(s) - v\gamma_2'(s), \gamma_2(s) + v\gamma_1'(s), 0) \quad \text{or} \quad (24)$$

$$\Psi(s, v) = (c_5s - c_7v\sin\phi + c_6, c_7s + c_5v\sin\phi + c_8, v\cos\phi), \quad \phi \neq \frac{\pi}{2} \quad \text{or} \quad (25)$$

$$\Psi(s, v) = \left(\gamma_1(s) - \frac{\gamma_2'(s)\gamma_2''(s) + 2\gamma_1(s)\gamma_1'(s)(\gamma_2'(s))^2 - 2(\gamma_1'(s))^2\gamma_2(s)\gamma_2'(s)}{2\gamma_2''(s)(\gamma_1(s)\gamma_2'(s) - \gamma_1'(s)\gamma_2(s))}, \gamma_2(s) + \frac{\gamma_1'(s)\gamma_2''(s) + 2\gamma_1(s)(\gamma_1'(s))^2\gamma_2'(s) - 2(\gamma_1'(s))^3\gamma_2(s)}{2\gamma_2''(s)(\gamma_1(s)\gamma_2'(s) - \gamma_1'(s)\gamma_2(s))}, v\sqrt{1 - \left(\frac{\gamma_2''(s)+2\gamma_1(s)\gamma_1'(s)\gamma_2'(s)-2(\gamma_1'(s))^2\gamma_2(s)}{2v\gamma_2''(s)(\gamma_1(s)\gamma_2'(s)-\gamma_1'(s)\gamma_2(s))}\right)^2}\right), \quad (26)$$

where $(c_5)^2 + (c_7)^2 = 1, c_6c_7 = c_5c_8$.

From (2) and (13), the weighted Gaussian curvature of helix surface (6) generated by unit speed planar curve $\gamma(s) = (\gamma_1(s), \gamma_2(s), 0)$ in Euclidean 3-space with density $e^{x^2+y^2+z^2}$ is

$$K_\phi = -6.$$

Thus,

Corollary 6. *The helix surface (6) generated by unit speed planar curve $\gamma(s) = (\gamma_1(s), \gamma_2(s), 0)$ has constant weighted Gaussian curvature (-6) in Euclidean 3-space with density $e^{x^2+y^2+z^2}$.*

We note that, the obtained above surfaces can be drawn with similar or different assumptions in Figure 1.

4. Conclusion and Future Work

In the present study, weighted minimal helix surfaces generated by unit speed planar curve have been given in Euclidean 3-space with different densities and some results have been stated for weighted flatness of these surfaces. We hope that, this study will bring a new viewpoint to differential geometers who are dealing with constant angle surfaces and in near future, one can handle these surfaces in different spaces with another densities.

References

- [1] Altın, M., & Kazan, A., & Karadağ, HB. (2019). Rotational Surfaces Generated by Planar Curves in E^3 with Density. *Int J Anal Appl.*, (17(3)), 311-328.
- [2] Altın, M., & Kazan, A., & Karadağ, HB. (2019). Ruled Surfaces in E^3 with Density. *Honam Mathematical Journal*, (41(4)), 683-695.
- [3] Altın, M., & Kazan, A., & Karadağ, HB. (2020). Non-Null Curves with Constant Weighted Curvature in Lorentz-Minkowski Plane with Density. *Turk J Math.*, (44), 588-610.
- [4] Altın, M., & Kazan, A., & Karadağ, HB. (2020). Ruled Surfaces Constructed by Planar Curves in Euclidean 3-Space with Density. *Celal Bayar Univ Journal of Science*, (16(1)), 81-88.
- [5] Cadena, CB., & Di Scala, AJ., & Ruiz-Hernandez, G. (2015). Helix surfaces in Euclidean spaces. *Beitr Algebra Geom.*, (56), 551-573.
- [6] Corwin, I., & Hoffman, N., & Hurder, S., & Sesum, V., & Xu, Y. (2006). Differential geometry of manifolds with density. *Rose-Hulman Und Math J.*, (7(1)), 1-15.
- [7] Di Scala, AJ., & Ruiz-Hernandez, G. (2009). Helix submanifolds of euclidean spaces. *Monatsh Math.*, (157), 205-215.
- [8] Di Scala, AJ., & Ruiz-Hernandez, G. (2016). Minimal helix submanifolds and minimal Riemannian foliations. *Bol Soc Mat Mex.*, (22), 229-250.
- [9] Di Scala, AJ. (2009). Weak helix submanifolds of euclidean spaces. *Abh Math Semin Univ Hambg.*, (79), 37-46.
- [10] Fetcu, D. (2015). A classification result for helix surfaces with parallel mean curvature in product spaces. *Ark Mat.*, (53), 249-258.
- [11] Gromov, M. (2003). Isoperimetry of waists and concentration of maps. *Geom Func Anal.*, (13), 178-215.
- [12] Hieu, DT., & Hoang, NM. (2009). Ruled minimal surfaces in R^3 with density e^z . *Pacific J. Math.*, (243(2)), 277-285.
- [13] Hieu, DT., & Nam, TL. (2013). The classification of constant weighted curvature curves in the plane with a log-linear density. *Commun Pure Appl Anal.*, (13), 1641-1652.
- [14] Kazan, A., & Karadağ, HB. (2018). Weighted Minimal and Weighted Flat Surfaces of Revolution in Galilean 3-Space with Density. *Int J Anal Appl.*, (16(3)), 414-426.
- [15] Kazan, S. (2020). On the Characterizations of Convolution Manifolds Obtained by Helix Hypersurfaces. *Gümüşhane Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, (10(3)), 631-640.
- [16] Morgan, F. (2005). Manifolds with Density. *Not Amer Math Soc.*, (52(8)), 853-858.
- [17] Nam, TL. (2017). Some results on curves in the plane with log-linear density. *Asian-European J of Math.*, (10(2)), 1-8.
- [18] Ruiz-Hernandez, G. (2011). Minimal helix surfaces in $N^n \times \mathbb{R}$. *Abh Math Semin Univ Hambg.*, (81), 55-67.
- [19] Yoon, DW., & Yüzbaşı, ZK. (2018). Weighted Minimal Affine Translation Surfaces in Euclidean Space with Density. *International Journal of Geometric Methods in Modern Physics*, (15(11)).
- [20] Zıplar, E., & Şenol, A., & Yaylı, Y. (2012). Helix Hypersurfaces and Special Curves. *Int J Contemp Math Sciences*, (7(25)), 1233-1245.
- [21] Zıplar, E. (2013). On the r-Helix Submanifolds of Euclidean Spaces. Ph.D.Thesis. Ankara University.



Özellik seçimi ve Derin Öğrenmeye Dayalı Parkinson Hastalığı Tespiti

Mehmet Bilal Er^{1*}

^{1*} Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-2074-1776), bilal.er@harran.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 27 Ekim 2020 ve Kabul Tarihi 23 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.817151)

ATIF/REFERENCE: Er, M. B. (2021). Özellik seçimi ve Derin Öğrenmeye Dayalı Parkinson Hastalığı Tespiti. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 428-436.

Öz

Parkinson hastalığı, motor sistemini etkileyen uzun süreli ciddi bir nörodejeneratif hastalıktır. Yavaşça ilerler ve zamanla hücrelerinin dejenerasyonuna neden olur. Bu hastalığın teşhisi zordur ve toplumdaki yaygın hastalıklardan biridir. Beyindeki dopamin hücrelerinin yetersizliği nedeniyle, vücutta motor ve motor olmayan (konuşma, koku alma) kusurlara yol açar. Parkinson hastalarının çoğunda ses bozukluğu olduğu bilinmektedir. Parkinson hastalarındaki konuşma sinyalleri, normal insanlara kıyasla büyük farklılıklar göstermektedir. Bu çalışmada, Parkinson hastalığının sınıflandırılması için konuşma sinyallerinin akustik özellikleri kullanılarak derin öğrenmeye dayalı yöntem önerilmektedir. İlk adımda akustik özellikler genetik algoritmadan geçirilerek etkin özellikler seçilmiştir. Ayrıca Genetik algoritmanın performansını kıyaslamak için ReliefF özellik seçin algoritmasında kullanılmıştır. İkinci adımında tasarlanan Evrimsel Sinir Ağı (ESA) mimarisine bu özellikler girdi olarak verilmiştir. Deneyler literatürde yaygın kullanılan veri seti ile yapılmıştır. Bu veri seti iki sınıftan oluşmaktadır ve UCI Makine Öğrenimi deposundan alınmıştır. Özellik seçimi olmadan ortalama %89,67, özellik seçimi ile ise ortalama olarak %94,23 doğruluk elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Parkinson, Derin öğrenme, Genetik algoritma.

Detection of Parkinson's Disease Based on Deep Learning and Feature Selection

Abstract

Parkinson's disease is a serious long-term neurodegenerative disease affecting the motor system. It progresses slowly and causes the degeneration of its cells over time. This disease is difficult to diagnose and is one of the common diseases in society. Due to the deficiency of dopamine cells in the brain, it causes motor and non-motor (speech, smell) defects in the body. It is known that most patients with Parkinson's have voice disorders. Speech signals in Parkinson's patients differ greatly compared to normal people. In this study, a method based on deep learning by using the acoustic features of speech signals is proposed for the classification of Parkinson's disease. In the first step, acoustic features are passed through genetic algorithm and effective features are selected. In addition, ReliefF feature selection algorithm is used to compare the performance of genetic algorithm. These features are given as input to the Convolutional Neural Network (CNN) architecture designed in the second step. Experiments are done with a dataset widely used in the literature. This dataset consists of two classes and is taken from the UCI Machine Learning repository. The average accuracy was 89.67% without feature selection, and 94.23% on average with feature selection.

Keywords: Parkinson, Deep learning, Genetic algorithm.

* Sorumlu Yazar: bilal.er@harran.edu.tr

1. Giriş

Parkinson hastalığı, dopaminerjik nöronların erken ölümünün neden olduğu ilerleyici bir nörodejeneratif bozukluktur (Poewe et al., 2017). Parkinson hastalığı Alzheimer hastalığından sonra en sık görülen ikinci nörolojik sendromdur (Benba ve ark., 2015). Parkinson hastalığı, 60 yaşın üzerindeki nüfusun yaklaşık %1'ini etkilediği tahmin edilmektedir (Reeve ve ark., 2014). Parkinson'un nedeni tam olarak anlaşılamamıştır. Hastalık seyri değişkendir ve farklı oranlarda ilerler. Parkinson hastalığı semptomları çeşitli ilaçlarla tedavi edilebilir (Arena & Stoessl, 2016). Parkinson hastalığının semptomları motor ve motor dışı olarak sınıflandırılır. Motor semptomlar hareketlerle ilişkilidir ve motor olmayan semptomlara göre daha belirgindir. Motor semptomlarda, hasta hareket yavaşlığından mustarıptır. Motor olmayan semptomlar belirli bir aralıkta belirgindir; uyku bozukluğu, konuşma ve yutma problemi ve koku alma bozukluğu gibi semptomlar görünür. Parkinson hastalığının konuşma üzerindeki etkisi fonasyon, artikülasyon ve prozodi olarak karakterize edilir (Parra-Gallego ve ark., 2018). Konuşma sinyalleri genellikle Parkinson hastalığını teşhis etmek için ana yöntemlerden biri olarak kabul edilir (Hosseini-Kivanani ve ark., 2019). Klinisyenler ve konuşma patoloğları Parkinson hastalarında farklı hastalık durumlarını ayırt etmek için akustik ipuçlarına dayanan öznel yöntemler benimsemiştir (Benba ve ark., 2015). (Hosseini-Kivanani ve ark., 2019) 'da yazarlar, içinde konuşma telaffuz problemlerini tanımlayan üç dilin konuşma sinyali kayıtları üzerinde deneyler yapmıştır. Ünlüler, cümleler, kelimeler gibi konuşma telaffuzunun bu hastalıktan etkilendiği gözlenmektedir. Bu nedenle konuşma, Parkinson hastalığını tespit etmede önemli bir yöntemdir. Parkinson ile ilgili vokal özelliklerinin otomatik olarak algılanmasına yardımcı olmak için geleneksel yöntemlerin çoğunda, deneklerden hem genlik hem de frekans açısından sabit bir sesli harf üretmeleri istenmektedir (B. E. Sakar ve ark., 2013). Geleneksel Parkinson tespiti çalışmalarında çıkarılan özellikler ile sınıf etiketleri arasındaki ilişkiyi öğrenmek için farklı makine öğrenmesi algoritmaları uygulanmaktadır. Son çalışmaların çoğunda el yazısı ve konuşma veri kümelerini kullanarak hastalık tespiti gerçekleştirmiştir (Rios-Urrego ve ark., 2019; Trinh & O'Brien, 2019). Parkinson tespiti için çoğunlukla Destek Vektör Makineleri (DVM) ile akustik özellikler dikkate alınmıştır. Ayrıca, literatür de Gauss tabanlı modeller ve ESA'ların Parkinson hastalığı sınıflandırılmasında kullanıldığı görülmektedir.

Bu çalışmada Parkinson sınıflandırmasında derin öğrenmeye dayalı bir yöntem kullanılmaktadır. Öncelikle farklı kategorilerde çıkarılan akustik ses sinyalleri özellikleri birleştirilmiştir. Daha sonra etkili özellik seçimi için çıkarılan özellikler genetik algoritmadan geçmiştir. Son olarak genetik algoritmadan geçirilen özellikler tasarlanan ESA mimarisine girdi olarak verilerek sınıflandırma işlemi yapılmıştır.

Bu makalenin geri kalanı şu şekilde düzenlenmiştir. Bölüm 2'de literatürdeki çalışmalar gözden geçirilmiştir ve aralarındaki farklar ortaya koyulmuştur. Bölüm 3 ve 4'te materyal ve önerilen yöntem tanıtılmıştır. Bölüm 5'te araştırmada kullanılan veri seti ve Parkinson hastalarını tespit edilmesiyle ilgili deneysel uygulamalar verilmiştir. Bölüm 6'de ise araştırmanın bulguları tartışılmıştır.

Bu çalışmanın ana katkıları aşağıdaki gibidir:

- Parkinson hastalığının tespiti için özellik seçimi ve derin öğrenmeye dayalı bir yöntem önerilmiştir.

- Derin ağların ağlarının Parkinson hastalığı sınıflandırma problemindeki etkin gücü ortaya koyulmuştur.
- Daha verimli özellikler elde etmek için özellik seçimi algoritması kullanılmıştır.

2. İlgili Çalışmalar

Parkinson hastalığının sınıflandırılması ile ilgili önemli çalışmalar bu bölümde verilecektir. Örüntü tanıma ve yapay zekânın gelişmesiyle birçok yaklaşım önerilmiştir. (Little ve ark., 2008)'da Parkinson hastalığı olan denekleri sınıflandırmak için yeni bir teknik önermişlerdir. Veriler, 195 sürekli sesli harf fonasyonundan oluşan 31 kişiden toplanmıştır. Bu kişilerin 23'ü Parkinson hastası, 8'i ise sağlıklı bireylerdir. Metodolojileri üç aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar, özellik çıkarma, ön işleme ve özellik seçimi ve sınıflandırma. Sınıflandırma amacıyla, doğrusal çekirdekli DVM kullanılmıştır. Önerilen modelden %91,4'lük bir doğruluk elde edilmiştir. (Bhattacharya & Bhatia, 2010)'de sağlıklı denekleri Parkinson hastası deneklerinden ayırmak için Weka olarak bilinen veri madenciliği aracı kullanılmıştır. Sınıflandırma amacıyla denetimli bir makine öğrenimi algoritması olan DVM'yi tercih edilmiştir. Sınıflandırmadan önce veri ön işleme veri kümesi üzerinde yapılmıştır. LibSVM kullanılarak mümkün olan en iyi doğruluğu elde etmek için farklı çekirdek değerlendirilmiştir. Doğrusal çekirdekli DVM ile %65,21 en iyi doğruluğu üretirken, Radyal temelli fonksiyon (RBF) çekirdeği ile %60,86 doğruluk elde edilmiştir. (B. E. Sakar ve ark., 2013)' de yeni bir model önermişlerdir. Yazarlar verileri 40 denekten (20'si sağlıklı, 20'si Parkinson) toplanmıştır. Her denekten, kısa cümleler, kelimeler, sayılar ve sürekli sesli harfleri içeren 26 ses örneği kaydedilmiştir. Sınıflandırma için DVM ve K en yakın komşu (KNN) kullanılmıştır. 1, 3, 5 ve 7 değerleri KNN'deki komşu sayısı için, DVM için ise doğrusal ve RBF çekirdeği tercih edilmiştir. KNN ile %82,50'lik bir doğruluk, DVM sınıflandırıcısı kullanıldığında ise %85'lik bir doğruluk sağlanmıştır. (C. O. Sakar ve ark., 2019)' de Parkinson tespiti için farklı konuşma sinyali işleme algoritmaları karşılaştırılmıştır. Çalışmalarında, ayarlanabilir Q faktörü dalgacık dönüşümü (TQWT) olarak adlandırılan yeni bir özellik tanıtılmıştır. Farklı özellik alt kümelerinde, farklı sınıflandırıcılar kullanılarak sınıflandırıcılar eğitilmiştir. Mel Frekans Kepsturm Katsayılarının (MFCC) ve TQWT'nin en yüksek doğruluklara ulaştığı ve bu nedenle Parkinson hastalığını sınıflandırma probleminde önemli özellikler olarak kabul edildiği tespit edilmiştir. Çalışmada ortalama olarak %86'lık bir doğruluk DVM elde edilmiştir. (Gunduz, 2019)' de vokal özellikler kullanarak Parkinson hastalığını sınıflandırmak için ESA mimarilerine dayanan iki çerçeve önermektedir. Her iki çerçeve de çeşitli özellik kümeleri hem ayrı ayrı hem de birleştirilerek değerlendirilmiştir. İlk yöntemde, 9 katmanlı ESA'ya özellik kümeleri girdi olarak verilmiştir, ikinci yöntemde ise özellik kümelerini doğrudan evrişim katmanlarına bağlı paralel katmanlardan geçirilerek derin özellikler eş zamanlı olarak çıkarılmıştır. Deneysel sonuçlara göre ikinci mimariden daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. (Parisi ve ark., 2018)'de Parkinson'un erken teşhisine yardımcı olmak için yeni yapay zekâ temelli yöntem geliştirilmiştir. 68 denekteki disfonik ölçümler ve klinik skorlara ilişkin veriler, UCI Makine Öğrenimi veri tabanından elde edilmiştir. Çok katmanlı bir algılayıcıdan (MLP) türetilmiş ağırlıklar, özellik seçimi için kullanılmıştır. Bu azaltılmış özellik seti daha sonra sınıflandırma için bir Lagrange Destek Vektör Makinesine (LSVM) girdi olarak verilmiştir. Bu hibrit algoritma

çalışmada kullanılan diğer sınıflandırıcılarla karşılaştırılmıştır. (Ali ve ark., 2019)'de Parkinson tespiti için ses kayıtları kullanılmıştır. Örnek ve özellik seçimi için iki boyutlu bir veri seçme yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntem, ki-kare istatistik modelini kullanarak özellikleri sıralar ve sıralanan özelliklerin optimal alt kümesini arar ve yinelemeli olarak örnekleri seçer. Önerilen yöntem, doğruluk açısından iyi sonuçlar göstermektedir. (Chen ve ark., 2020)'da Hilbert-Huang Transform Dönüşümü (HHT) ve KNN ile ses bozukluklarının sınıflandırılması için yeni bir yöntem önerilmektedir. Her ses kaydının 12 özelliği HHT ile hesaplanmıştır. Ayrıca Linear Prediction Coefficient (LPCC) algoritmasına dayalı olarak, bir örnek 9 özellik ile karakterize edilmiştir. Daha sonra her örnek 21 özellik ile ifade edildikten sonra özellikler KNN sınıflandırıcıya verilmiştir. Ek olarak, KNN sınıflandırıcının performansını değerlendirmek için aynı deneyler rastgele sınıflandırıcı ve karar ağaçları kullanılarak yapılmıştır. Deney sonuçları, KNN'ye dayalı sınıflandırıcının, %93,3 doğruluk oranı ile diğer iki sınıflandırıcıdan daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymaktadır. (Sivaranjini & Sujatha, 2019)'de derin sinir ağları kullanarak sağlıklı ve Parkinson hastası deneklerinin MR görüntüleri sınıflandırılmıştır. Önceden eğitilmiş derin mimari olan AlexNet, Parkinson hastalığının teşhisini iyileştirmek için kullanılmıştır. MR görüntüleri ile önceden eğitilen derin ağ tekrar eğitilmiştir ve sınıflandırma işlemi yapılmıştır. Önerilen sistem ile %88,9'luk bir doğruluk elde edilmiştir.

3. Materyal ve Metod

3.1. Evrişimsel Sinir Ağları

Evrişimsel sinir ağları, özellikle görüntü nesnesi tanıma gibi görüntü analizi ve bilgisayarlı görmede başarıyla uygulanmış çok katmanlı, ileri beslemeli yapay sinir ağları gurubundadır. Evrişim ağları beyindeki biyolojik süreçlerden esinlenmiştir. Nöronlar arasındaki bağlantı paterni görsel korteksin organizasyonuna benzer (Fu & Aldrich, 2019). ESA'lar, görüntü tanıma ve sınıflandırma gibi alanlarda çok etkili olduğu kanıtlanmış bir sinir ağı modelidir (Gülcü & Kuş, 2019). ESA'lar, minimum ön işleme gerektirecek şekilde tasarlanmıştır. ESA, tipik olarak üç tip katmandan oluşan matematiksel bir yapıdadır. Bu katmanlar evrişim, havuzlama ve tamamen bağlı katmanlardır (Cireundefinedan ve ark., 2011). Evrişimsel ve havuzlama katmanları, özellik çıkarma işlemini gerçekleştirirken, tamamen bağlı katmanlar ise çıkarılan özellikleri, sınıflandırmak için son çıktıya gönderir. Bir sinir ağının görüntüdeki pikselleri sayısal değerler olarak yorumlayabilmesi gerektiğinden evrişimsel katmanlar gereklidir. Evrişimsel katmanların işlevi, görüntüyü sinir ağının yorumlayabileceği sayısal değerlere dönüştürmek ve daha sonra ilgili kalıpları çıkarmaktır. Evrişimsel katmandaki filtreler, görüntüdeki desenleri öğrenecek sonraki katmanlara geçirir. Evrişim katmanında filtreler giriş görüntüsü üzerinde dolaştırılır. Evrişim formülü denklem 1 de verilmiştir. Denklemde verilen 'M' özellik haritasını, 'w' ise (x,y) boyutunda evrişim çekirdeğini ifade eder.

$$M(i,j)=(R*w)(i,j)=\sum_x \sum_y R(i-x,j-y)w(x,y) \quad (1)$$

Her evrişim katmanından sonra, doğrusal olmayan bir katmanın veya aktivasyon katmanının uygulanması ESA'ada gelenekseldir. Bu katmanın amacı, temelde doğrusal işlemleri hesaplayan bir sistemi doğrusal olmayan hale getirmektir. ReLU katmanı, gelen tüm değerlere $f(x) = \max(0, x)$ işlevini uygular.

Temel olarak, bu katman tüm negatif aktivasyonları 0 olarak değiştirir. Bu katman, evrişim katmanından gelen özellikleri etkilemeden modelin ve genel ağı doğrusal olmayan özelliklerini artırır. ReLU için gerekli formül denklem 2'de verilmiştir.

$$ReLU(x) = \max(x,0) \quad (2)$$

Havuzlama (pooling) katmanı bir ESA'nın başka bir yapı taşıdır ve evrişim ve ReLU işleminden sonra uygulanır. İşlevi, ağıdaki parametre ve hesaplama miktarını azaltmaktır. Havuzlama katmanı her özellik haritasından bağımsız olarak çalışır. Havuzlamada kullanılan en yaygın yaklaşım maksimum havuzlamadır. Şekil 1'de maksimum havuzlama (maxpooling) örneği gösterilmektedir.



Şekil 1. Maksimum Havuzlama Örneği

Evrişim ve havuzlama katmanları tarafından alt örneklenen özellikler oluşturulduktan sonra bu özellikler tam bağlı katmana bağlanır. Son evrişim veya havuzlama katmanının çıktı özellik haritaları tipik olarak düzleştirilir, yani bir boyutlu (1D) sayı dizisine veya vektöre dönüştürülür. Daha sonra bu özellikler bir veya daha fazla tamamen bağlı katmana bağlanır. Burada her girdi her bir çıktıya bağlanır ve her bir nöron öğrenilebilir ağırlığa sahiptir. Son tam bağlı katman tipik olarak sınıf sayısı ile aynı sayıda çıkış düğümüne sahiptir ve bu katmanda sınıflandırma işlemi yapılır. Son katmanda farklı sınıflandırıcılar kullanılabilirdi genellikle Softmax kullanılır. Softmax denklemi 3'te verilmiştir. Softmax, nöronların çıkış değerlerini (0,1) aralığında olmasını sağlar.

$$softmax(x)_j = \frac{e^{x_j}}{\sum_{n=1}^N e^{x_n}}, \quad j=1 \dots N \quad (3)$$

3.2. Genetik Algoritma ile Özellik Seçimi

Evrişimsel hesaplama, optimizasyon için bir araç olarak kullanılabilirliği düşüncesiyle geliştirilmiştir. Genetik Algoritma (GA), genetik ve doğal seleksiyon prensiplerine dayanan arama tabanlı bir optimizasyon tekniğidir. GA, kromozom popülasyonunu, çaprazlama ve mutasyon gibi işlemlere birlikte yeni popülasyonlara dönüştürmenin bir yöntemidir (Wu ve ark., 2013). Genellikle çözülmesi uzun sürecek problemlere optimal çözümler bulmak için kullanılır (Koza, 1994). Makine öğreniminde optimizasyon problemlerini çözmek için sıklıkla kullanılır. Bu çalışmada özellik seçimi için en gelişmiş algoritmalarından biri olan GA kullanılmıştır. GA tabanlı özellik seçiminde yer alan adımlar şunlardır;

- ✓ Başla: İlk adım, popülasyondaki bireyleri oluşturmak ve başlatmaktır. GA optimizasyon yöntemi olduğundan, bireylerin genleri genellikle rastgele başlatılır.
- ✓ Uygunluk: Başlatma işleminden sonra, popülasyondaki her bireye bir uygunluk değeri atamak gerekir. Uygunluk değeri karşılanırsa, sonucu sonlandırmak ve sonucu üretmek anlamına gelir, aksi takdirde sonraki adımlar izlenir.

✓ Seçim: Seçim operatörü bir sonraki nesil için yeniden birleştiren özellikleri seçer. Mevcut popülasyondaki en iyi bireyler seçilir. Uygunluk değerine en yakın olanların seçim şansı daha yüksektir.

✓ Çaprazlama: Seçim operatörü popülasyonun yarısını seçtikten sonra, çaprazlama operatörü yeni bir popülasyon oluşturmak için seçilen kişileri yeniden birleştirir.

✓ Mutasyon: Çaprazlama operatörü, ebeveynlere çok benzeyen bireyler üretebilir. Bu, düşük çeşitliliğe sahip yeni bir nesle neden olabilir. Mutasyon operatörü bu sorunu, bireylerin bazı özelliklerin değerini rastgele değiştirerek çözer.

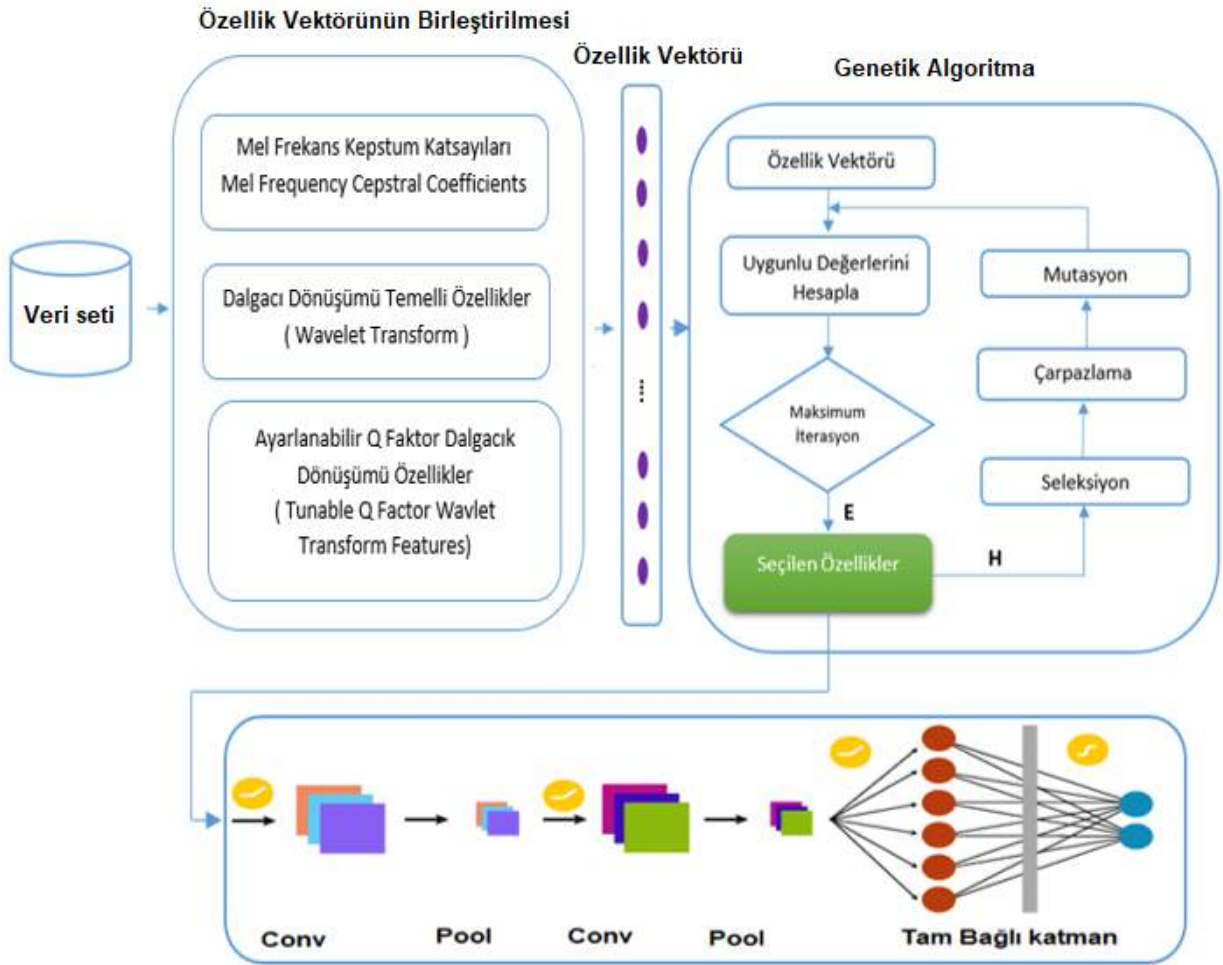
3.3. ReliefF ile Özellik Seçimi

ReliefF, birçok özellik seçim uygulamasında başarılı sonuçlar veren en önemli özellik seçimi algoritmalarından biridir. ReliefF, Relief istatistiksel modelinin geliştirilmiş versiyonudur.

Relief metodu, veri setinden bir örnek ele alarak ilgili örneğin, kendi sınıflarındaki diğer örneklerle yakınlığını ve farklı sınıflarla olan uzaklığına bağlı bir model oluşturarak özellik seçme işlemini gerçekleştirmektedir (Bolón-Canedo ve ark., 2014).

4. Önerilen Yöntem

Parkinson hastalığının sınıflandırılması için önerilen yöntem üç adımdan oluşmaktadır. İlk olarak ses sinyallerinden farklı kategorilerde elde edilen özellikler birleştirilmiştir. Birleştirilmiş özelliklerden en belirgin özellikleri seçmek için genetik algoritma kullanılmıştır. Daha sonra ise en belirgin özellikler tasarlanan ESA modeline girdi olarak verilerek sınıflandırma işlemi yapılmıştır. Ayrıca tasarlanan ağın performansını ölçmek için farklı kategorideki özellikler ayrı ayrı derin ağa girdi olarak verilmiştir. Önerilen yöntem şekil 2’de sunulmuştur. Ayrıca Genetik algoritmanın performansını ölçmek için aynı deneyler ReliefF özellik seçimi ile de yapılmıştır.



Şekil 2. Önerilen Yöntem

4.1. ESA'nın Tasarımı

Tasarlanan ESA'nın topolojisi, 1 giriş katmanı, 2 evrişim katmanı, 2 havuzlama katmanı, iki tam bağlantılı katmanı ve 1 çıkış katmanından oluşur. Tasarlanan mimaride toplam 8 katman bulunmaktadır. Birinci evrişim katmanında 128 adet evrişim

filtresi, ikinci evrişim katmanında 64 adet evrişim filtresi bulunmaktadır. Aktivasyon fonksiyonu olarak ReLu kullanılmıştır. Ayrıca her evrişim ve ReLu işleminden sonra 2x1 boyutunda maksimum havuzlama yapılmıştır. Tasarlanan mimari Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Tasarlanan ESA mimarisi

No	Katman İsmi	Açıklama	Özellikler
----	-------------	----------	------------

1	Giriş	Giriş vektörü	-
2	'conv1'	Evrişim	12 boyutunda 128 adet evrişim filtresi
3	'relu1'	ReLU	-
4	'pool1'	Maksimum Havuzlama	2x1 havuzlama
5	'conv2'	Evrişim	6 boyutunda 64 adet evrişim filtresi
6	'relu2'	ReLU	-
7	'pool2'	Maksimum Havuzlama	2x1 havuzlama
8	'fc1'	Tam Bağlı Katman	2048 nöron
9	'relu7'	ReLU	-
10	'drop7'	Dropout	50% dropout
11	'fc2'	Tam Bağlı Katman	1024 nöron
12	Çıkış	Softmax	2 sınıf

5. Deneysel Uygulamalar

5.1. Veri Seti

Bu çalışmada UCI Makine Öğrenimi deposundan alınan veri seti kullanılmıştır. Veriler, İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Nöroloji Anabilim Dalı'nda bulunan 33 ile 87 yaşları arasında 107 erkek ve 81 kadından oluşan hastalardan toplanmıştır (C. O. Sakar ve ark., 2019). Sağlıklı bireyler, 41 ile 82 yaş arası 23 erkek ve 41 kadından oluşmaktadır. Veri setinde 188 Parkinson hastasından ve 64 sağlıklı bireyden alınan 756 kayıt vardır. Her bireyden üç ses kaydı alınmıştır. Veri setinden klinik olarak değerli bilgileri elde etmek amacıyla Zaman frekansı özellikleri, Mel frekans kepsral katsayıları, dalgacı dönüşümü temelli özellikler, ayarlanabilir Q faktör dalgacı dönüşümü özellikler ve vokal özellikler vardır. Çeşitlendirilmiş konuşma sinyali işleme algoritmaları ile 754 özellikler çıkarılmıştır ve bu özellikler veri setinde hazır olarak verilmiştir. Zaman frekans özellikleri, sinyallerin frekans uzayına taşınması ile elde edilen DB cinsinden ortalama, minimum ve sinyalin gücü şeklindeki özelliklerdir (C. O. Sakar ve ark., 2019). MFCC, insan işitme algılamasına dayanmaktadır ve ses işleme alanında en çok kullanılan özellik çıkarma yöntemlerinden biridir. MFCC özellikleri insan kulağının frekans seçiciliğini taklit ederek konuşmacıları ayırt edici değerler elde edilmesi üzerine kurulmuştur. MFCC, Parkinson'dan etkilenen dil ve dudaklardaki hareket değişikliklerinin tespiti için yararlı olmuştur (B. E. Sakar ve ark., 2013). Konuşma örneklerinin ham temel frekans (F0) konturundan elde edilen dalgacı dönüşümü tabanlı özellikler, Birleşik Parkinson Hastalığı Derecelendirme Ölçeğinin (UPDRS) göstergeleri olarak kullanılmıştır. Dalgacı dönüşümü tabanlı özelliklerin kullanımının arkasındaki fikir, sürekli bir sesli harfin periyodik olarak tekrarlanması, sağlıklı konuşma örnekleri için minimum olmasıdır (Titze, 2000). Ayarlanabilir Q faktörü dalgacı dönüşümü özellikler, iki bantlı bir sinyalin alt kısmının düşük geçişli bir ölçeklendirme filtresi ve yüksek geçişli bir ölçekleme filtresi ile yinelemeli olarak filtrelenmesi ile elde edilir (Selesnick, 2011). Temel özellikler olarak bilinen ve en yaygın kullanılan vokal özellikleri titreme, parlıltı, temel frekans parametreleri, harmonite parametreleridir (C. O. Sakar ve ark., 2019).

5.2. Deneysel Sonuçlar

Bu çalışmada sınıflandırma işlemi için ses kayıtlarından elde edilen özellikler ve tasarlanan ESA mimarisi kullanılmıştır.

Önerilen yöntemin başarımları kriterleri doğruluk, kesinlik ve F-skoru oranlarına dayalı olarak yapılmıştır.

- Yanlış pozitifler (YP): negatif sınıftan olan, pozitif olarak tahmin edilen örnekler.
- Yanlış negatifler (YN): gerçek sınıfı pozitif olan negatif olarak tahmin edilen örnekler.
- Doğru pozitifler (DP): pozitif sınıfa ait doğru tahmin edilen örnekler.
- Doğru negatifler (DN): negatif sınıfa ait olarak doğru tahmin edilen örnekler.

$$\text{Doğruluk} = \frac{|DN|+|DP|}{|YN|+|YP|+|DN|+|DP|} \quad (4)$$

Kesinlik (P), pozitif bir tahminin doğru olma olasılığını tahmin eden bir ölçüdür. Kesinlik ölçümü denklem 5'te verilmiştir.

$$\text{Kesinlik}(P) = \frac{|DP|}{|DP|+|YP|} \quad (5)$$

F-skoru, pozitif kestirim oranı ve duyarlılık ölçülerinin uyumlu bir ortalaması olup denklem 6'de gösterildiği gibi hesaplanır.

$$F - \text{skor} = \frac{2*|DP|}{2*|DP|+|YP|+|YN|} \quad (6)$$

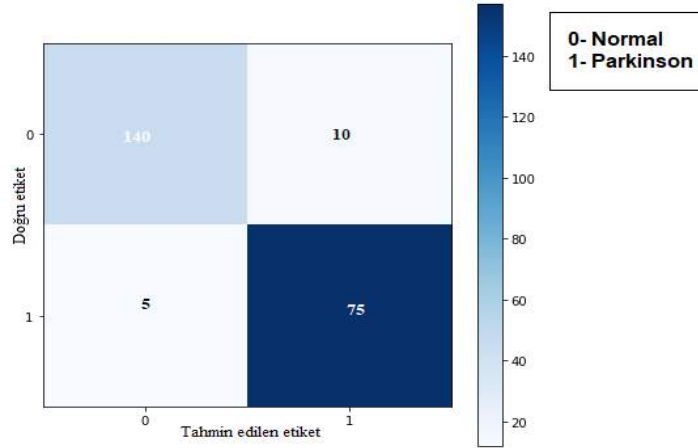
Öğrenme oranı, epok sayısı ve minibatch boyutu ESA'nın performansını etkileyen en önemli hiper parametrelerdir. Tasarlanan mimaride minibatch boyutu 16, maksimum epok sayısı 20 ve öğrenme oranı 1e-6 olarak ayarlanmıştır. Bu parametrelerin seçilme nedeni tasarlanan mimari için en optimum sonucu vermeleridir. Eğitim ve test için ayrılan verilerin boyutunun performans üzerindeki etkisini görmek için, bu veriler 2 farklı şekilde bölünmüştür. İlk deneyde, verilerin %70'i eğitim için ve %30'u test için kullanılır; ikinci deneyde, verilerin %80'i eğitim için ve %20'si test için kullanılmıştır. Verilerin eğitim ve test için sırasıyla %70-%30 olarak bölünmesi ile elde edilen sınıflandırma sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. Deneyler, Zaman frekans özellikleri, MFCC, Dalgacı dönüşümü temelli özellikler, ayarlanabilir Q faktör dalgacı dönüşümü özellikler ve vokal özellikler kullanılarak yapılmıştır. Ayrıca, bu özellikler birleştirilerek aynı deneyler tekrar yapılmıştır. Son olarak birleştirilmiş özellik vektörü hem ReliefF hem de genetik algoritmadan geçirilerek özellik seçimi yapılmıştır. Veri setindeki 754 özellik ReliefF özellik seçimi ile 372'ye genetik algoritma ile ise 361'ye indirilmiştir. Zaman frekans özellikleri kullanılarak %82,13, MFCC özellik vektörü kullanılarak %83,25, dalgacı dönüşümü temelli özellik vektörü kullanılarak

%85,46, ayarlanabilir Q faktör dalgacık dönüşümü özellikler kullanılarak %85,90 ve vokal özellik vektörü ile ise %81,35 genel doğruluk elde edilmiştir. Özellik seçimi olmadan birleştirilmiş özellik vektörü kullanılarak %88,34, ReliefF özellik seçimi işlemi yapılarak birleştirilmiş özellik vektöründen %91,67 ve genetik algoritmadan geçirilmiş birleştirilmiş özellik vektöründen ise %93,56 genel doğruluk elde edilmiştir. En iyi

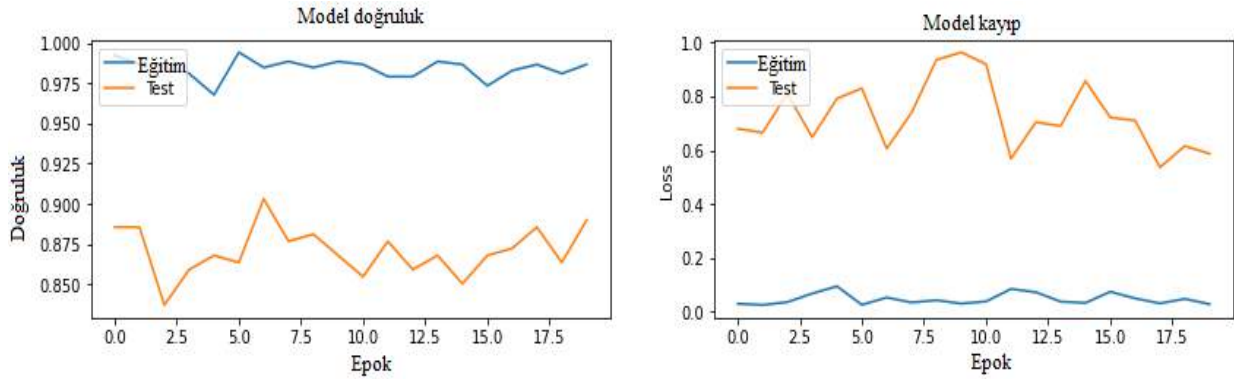
sınıflandırma sonucuna genetik algoritmadan geçirilmiş birleştirilmiş özellik vektöründen elde edilmiştir. En iyi sınıflandırma sonucuna ait karışıklık matrisi şekil 3'te verilmiştir. Genetik algoritmadan geçirilmiş özellik vektörü için eğitim ve test sıralarındaki doğruluk ve kayıp sonuçları şekil 4 'de verilmiştir.

Tablo 2. Verinin Eğitim ve Test için %70-%30 Olarak Bölünmesi ile Elde Edilen Sınıflandırma Sonuçları

Özellik Vektörü	Doğruluk %	Kesinlik %	F-skoru %
Zaman Frekansı Özellikleri	82,13	83,46	83,57
MFCC	83,25	88,30	88,23
Dalgacı dönüşümü temelli özellikler	85,46	88,20	90,48
Ayarlanabilir Q faktör dalgacık dönüşümü özellikler	85,90	90,53	90,53
Vokal özellikler	81,35	82,37	81,42
Birleştirilmiş özellik vektörü (Özellik seçimi olmadan)	88,34	91,34	91,27
Birleştirilmiş özellik vektörü (ReliefF ile özellik seçimli)	91,67	91,35	91,82
Birleştirilmiş özellik vektörü (Genetik algoritma ile özellik seçimli)	93,56	93,24	93,02



Şekil 3. En İyi Sınıflandırma Sonucuna Ait Karışıklık Matrisi (Verinin Eğitim ve Test için Bölünme Oranı: %70-%30)



Şekil 4. Öğrenme Grafikleri (Verinin Eğitim ve Test için Bölünme Oranı: %70-%30)

Verilerin eğitim ve test için sırasıyla %80-%20 olarak bölünmesi ile elde edilen sınıflandırma sonuçları Tablo 3'te verilmiştir. Zaman frekans özellikleri kullanılarak %82,79, MFCC özellik

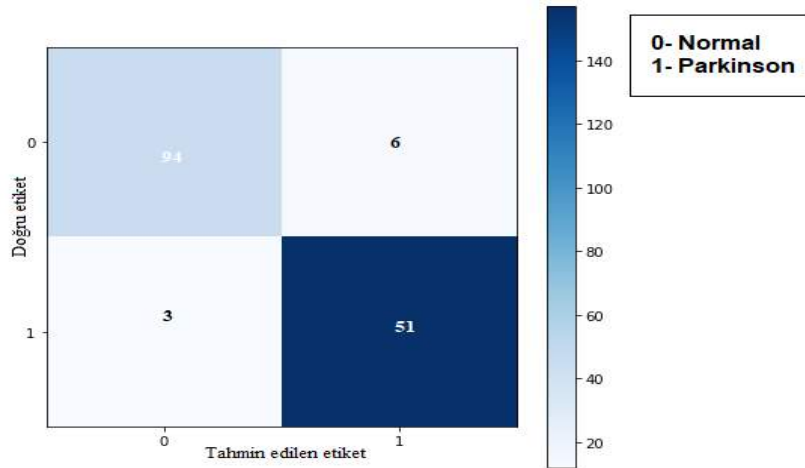
vektörü kullanılarak %84,25, dalgacı dönüşümü temelli özellik vektörü kullanılarak %86,21, ayarlanabilir Q faktör dalgacık dönüşümü özellikler kullanılarak %86,53 ve vokal özellik vektörü ile ise %83,56 genel doğruluk elde edilmiştir. Özellik

seçimi olmadan birleştirilmiş özellik vektörü kullanılarak %89,67, ReliefF özellik seçimi işlemi yapılarak birleştirilmiş özellik vektöründen %93,15 ve genetik algoritmadan geçirilmiş birleştirilmiş özellik vektöründen ise %94,23 genel doğruluk elde edilmiştir. En iyi sınıflandırma sonucuna genetik algoritmadan geçirilmiş birleştirilmiş özellik vektöründen elde edilmiştir. En iyi sınıflandırma sonucuna ait karışıklık matrisi şekil 5'te verilmiştir. Genetik algoritmadan geçirilmiş özellik

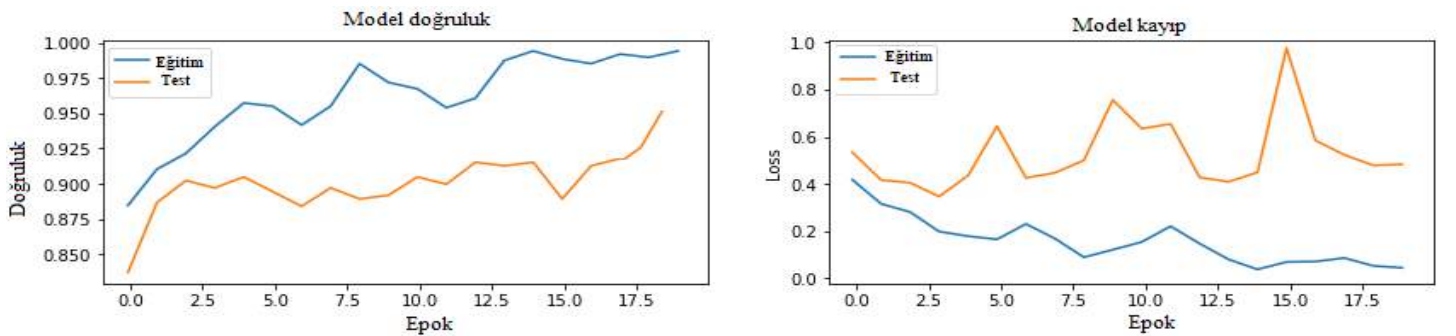
vektörü için eğitim ve test sıralarındaki doğruluk ve kayıp sonuçları şekil 6 'da verilmiştir. Verilerin test ve eğitim için farklı oranlarda bölünmesi ile elde edilen deney sonuçları arasındaki standart sapmalar Tablo 4'te verilmiştir. Performans değerlendirmesi için elde ettiğimiz bulgularla literatürde kullanılan diğer yöntemlerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Tablo 5'te önemli bazı çalışmalar verilmiştir.

Tablo 3. Verinin Eğitim ve Test için %80-%20 Olarak Bölünmesi ile Elde Edilen Sınıflandırma Sonuçları

Özellik Vektörü	Doğruluk %	Kesinlik %	F-skoru %
Zaman Frekansı Özellikleri	82,79	84,15	84,15
MFCC	84,25	86,67	88,69
Dalgacı dönüşümü temelli özellikler	86,21	89,50	91,57
Ayarlanabilir Q faktör dalgacı dönüşümü özellikler	86,53	91,67	92,45
Vokal özellikler	83,56	83,56	82,87
Birleştirilmiş özellik vektörü (Özellik seçimi olmadan)	89,67	91,35	91,89
Birleştirilmiş özellik vektörü (ReliefF ile özellik seçimli)	93,15	92,67	93,12
Birleştirilmiş özellik vektörü (Genetik algoritma ile özellik seçimli)	94,23	93,56	94,34



Şekil 5. En İyi Sınıflandırma Sonucuna Ait Karışıklık Matrisi (Verinin Eğitim ve Test için Bölünme Oranı: %80-%20)



Şekil 6. Öğrenme Grafikleri (Verinin Eğitim ve Test için Bölünme Oranı: %80-%20)

Tablo 4. Deney Sonuçları Arasındaki Standart Sapmalar

Özellik Vektörü	Doğruluk için Standart Sapma	Kesinlik için Standart Sapma	F-skoru için Standart Sapma
-----------------	------------------------------	------------------------------	-----------------------------

Zaman Frekans Özellikleri	0,33	0,345	0,29
MFCC	0,5	0,815	0,23
Dalgacı dönüşümü temelli özellikler	0,375	0,65	0,545
Ayarlanabilir Q faktör dalgacık dönüşümü özellikler	0,315	0,57	0,96
Vokal özellikler	1,105	0,595	0,725
Birleştirilmiş özellik vektörü (Özellik seçimi olmadan)	0,665	0,005	0,31
Birleştirilmiş özellik vektörü (Relief ile özellik seçimli)	0,74	0,66	0,65
Birleştirilmiş özellik vektörü (Genetik algoritma ile özellik seçimli)	0,335	0,16	0,66

Tablo 5. Performans Karşılaştırılması

Yöntem	Sınıflandırıcı	Doğruluk %
Sakar ve ark. (C. O. Sakar ve ark., 2019)	DVM (RBF)	86,0
Sakar ve ark. (C. O. Sakar ve ark., 2019)	KNN	85,0
Xiong ve ark. (Xiong & Lu, 2020)	LDA (Lineer Diskriminant Analizi)	95,0
Gündüz (Gunduz, 2019)	ESA (Parelel evrişim)	86,69
Önerilen Yöntem	ESA	94,23

6. Sonuç

Parkinson hastalığı dünya çapında insanlar arasında yaygın görülen hastalıklardan biridir. Hastalığın erken teşhisi açık bir araştırma konusudur ve birçok araştırmacı, tespiti ve teşhis için en yüksek doğruluğa ulaşmada önemli çalışmalar yapmıştır. Hesaplamalı modeller tıbbi hastalık tanısında etkilidir ve veriler birincil faktördür. Bu deneysel çalışmada, ses kayıtlarından Parkinson hastalığının tespiti için derin ağlara dayalı bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntemde kullanılan veri seti UCI Makine Öğrenimi deposundan alınmıştır. İlk olarak farklı kategorideki özellik vektörleri birleştirilmiştir. Etkin özellikleri seçmek için

birleştirilmiş özellik vektörü özellik seçme algoritmalarından geçirilmiştir. Daha sonra tasarlanan ESA mimarisine özellikler girildi olarak verilerek sınıflandırma işlemi yapılmıştır. Özellik seçimi olmadan %89,67, genetik algoritma ile özellik seçimi sonrası ise %94,23 doğruluk elde edilmiştir. Sonuçlar, kullanılan yöntemin sağlıklı ve Parkinson hastasını ayırt etmede etkili olduğunu göstermektedir. Gelecekteki çalışmalar için ESA ve Uzun Kısa Vadeli Hafıza (LSTM) hibrit modellerinin Parkinson hastalığının sınıflandırma probleminde kullanılması önerilmektedir.

Kaynakça

- Ali, L., Zhu, C., Zhou, M., & Liu, Y. (2019). Early diagnosis of Parkinson's disease from multiple voice recordings by simultaneous sample and feature selection. *Expert Systems with Applications*, 137, 22–28. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.06.052>
- Arena, J. E., & Stoessl, A. J. (2016). Optimizing diagnosis in Parkinson's disease: Radionuclide imaging. *Parkinsonism & Related Disorders*, 22, S47–S51. <https://doi.org/10.1016/j.parkreldis.2015.09.029>
- Benba, A., Jilbab, A., & Hammouch, A. (2015). Detecting Patients with Parkinson's disease using Mel Frequency Cepstral Coefficients and Support Vector Machines. *International Journal on Electrical Engineering and Informatics*, Volume 7, 297–307. <https://doi.org/10.15676/ijeel.2015.7.2.10>
- Bhattacharya, I., & Bhatia, M. P. S. (2010). SVM classification to distinguish Parkinson disease patients. In *Proceedings of the 1st Amrita ACM-W Celebration on Women in Computing in India - A2CWIC '10*. ACM Press. <https://doi.org/10.1145/1858378.1858392>
- Bolón-Canedo, V., Sánchez-Marfoño, N., Alonso-Betanzos, A., Benítez, J. M., & Herrera, F. (2014). A review of microarray datasets and applied feature selection methods. *Information Sciences*, 282, 111–135. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2014.05.042>
- Chen, L., Wang, C., Chen, J., Xiang, Z., & Hu, X. (2020). Voice Disorder Identification by using Hilbert-Huang Transform (HHT) and K Nearest Neighbor (KNN). *Journal of Voice*. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2020.03.009>
- Cireundefedan, D. C., Meier, U., Masci, J., Gambardella, L. M., & Schmidhuber, J. (2011). Flexible, High Performance Convolutional Neural Networks for Image Classification. *Proceedings of the Twenty-Second International Joint Conference on Artificial Intelligence - Volume Volume Two*, 1237–1242.
- Fu, Y., & Aldrich, C. (2019). Flotation froth image recognition with convolutional neural networks. *Minerals Engineering*, 132, 183–190. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2018.12.011>
- GÜLCÜ, A., & KUŞ, Z. (2019). Konvolüsyonel Sinir Ağlarında Hiper-Parametre Optimizasyonu Yöntemlerinin İncelenmesi. In *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*

- Part C: *Tasarım ve Teknoloji* (Vol. 7, pp. 503–522). Gazi Üniversitesi. <https://doi.org/10.29109/gujsc.514483>
- Gunduz, H. (2019). Deep Learning-Based Parkinson's Disease Classification Using Vocal Feature Sets. *IEEE Access*, 7, 115540–115551. <https://doi.org/10.1109/access.2019.2936564>
- Hosseini-Kivanani, N., Vásquez-Correa, J. C., Stede, M., & Nöth, E. (2019). Automated Cross-language Intelligibility Analysis of Parkinson's Disease Patients Using Speech Recognition Technologies. In *Proceedings of the 57th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics: Student Research Workshop*. Association for Computational Linguistics. <https://doi.org/10.18653/v1/p19-2010>
- Koza, J. R. (1994). Genetic programming as a means for programming computers by natural selection. *Statistics and Computing*, 4(2), 87–112. <https://doi.org/10.1007/BF00175355>
- Little, M., McSharry, P., Hunter, E., Spielman, J., & Ramig, L. (2008). Suitability of dysphonia measurements for telemonitoring of Parkinson's disease. *Nature Precedings*. <https://doi.org/10.1038/npre.2008.2298.1>
- Parisi, L., RaviChandran, N., & Manaog, M. L. (2018). Feature-driven machine learning to improve early diagnosis of Parkinson's disease. *Expert Systems with Applications*, 110, 182–190. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.06.003>
- Parra-Gallego, L. F., Arias-Vergara, T., Vásquez-Correa, J. C., Garcia-Ospina, N., Orozco-Arroyave, J. R., & Nöth, E. (2018). Automatic Intelligibility Assessment of Parkinson's Disease with Diadochokinetic Exercises. In *Communications in Computer and Information Science* (pp. 223–230). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-00353-1_20
- Poewe, W., Seppi, K., Tanner, C. M., Halliday, G. M., Brundin, P., Volkman, J., Schrag, A.-E., & Lang, A. E. (2017). Parkinson disease. *Nature Reviews Disease Primers*, 3(1). <https://doi.org/10.1038/nrdp.2017.13>
- Reeve, A., Simcox, E., & Turnbull, D. (2014). Ageing and Parkinson's disease: why is advancing age the biggest risk factor? *Ageing Research Reviews*, 14(100), 19–30. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2014.01.004>
- Rios-Urrego, C. D., Vásquez-Correa, J. C., Vargas-Bonilla, J. F., Nöth, E., Lopera, F., & Orozco-Arroyave, J. R. (2019). Analysis and evaluation of handwriting in patients with Parkinson's disease using kinematic, geometrical, and non-linear features. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 173, 43–52. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2019.03.005>
- Sakar, B. E., Isenkul, M. E., Sakar, C. O., Sertbas, A., Gorgen, F., Delil, S., Apaydin, H., & Kursun, O. (2013). Collection and Analysis of a Parkinson Speech Dataset With Multiple Types of Sound Recordings. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 17(4), 828–834. <https://doi.org/10.1109/jbhi.2013.2245674>
- Sakar, C. O., Serbes, G., Gunduz, A., Tunc, H. C., Nizam, H., Sakar, B. E., Tutuncu, M., Aydin, T., Isenkul, M. E., & Apaydin, H. (2019). A comparative analysis of speech signal processing algorithms for Parkinson's disease classification and the use of the tunable Q-factor wavelet transform. *Applied Soft Computing*, 74, 255–263. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.10.022>
- Selesnick, I. W. (2011). Wavelet Transform With Tunable Q-Factor. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 59(8), 3560–3575. <https://doi.org/10.1109/TSP.2011.2143711>
- Sivaranjini, S., & Sujatha, C. M. (2019). Deep learning based diagnosis of Parkinson's disease using convolutional neural network. *Multimedia Tools and Applications*, 79(21–22), 15467–15479. <https://doi.org/10.1007/s11042-019-7469-8>
- Titze, I. R. (2000). *Principles of Voice Production*. National Center for Voice and Speech. Acoustical Society of America.
- Trinh, N. H., & O'Brien, D. (2019). Pathological Speech Classification Using a Convolutional Neural Network. In *Proc. IMVIP, Ireland*.
- Wu, T.-C., Hung, K.-C., Liu, J.-H., & Liu, T.-K. (2013). Wavelet-based ECG data compression optimization with genetic algorithm. *Journal of Biomedical Science and Engineering*, 06(07), 746–753. <https://doi.org/10.4236/jbise.2013.67092>
- Xiong, Y., & Lu, Y. (2020). Deep Feature Extraction From the Vocal Vectors Using Sparse Autoencoders for Parkinson's Classification. *IEEE Access*, 8, 27821–27830. <https://doi.org/10.1109/access.2020.2968177>



Farklı Lokasyonlarda Yetiştirilen Kirazların (*Prunus avium*) Bazı Fizikokimyasal Özellikleri ve Aroma Bileşenlerinin Belirlenmesi

Özden İlhan^{1*}, Nevzat Artık²

^{1*} Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 06830, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9056-4576), ozdenilhan90@gmail.com

² Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 06830, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5583-6719), artik6226@hotmail.com

(İlk Geliş Tarihi 31 Ekim 2020 ve Kabul Tarihi 11 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.818911)

ATIF/REFERENCE: İlhan, Ö. & Artık, N. (2021). Farklı Lokasyonlarda Yetiştirilen Kirazların Bazı Fizikokimyasal Özellikleri ve Aroma Bileşenlerinin Belirlenmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (21), 437-443.

Öz

Meyvelerinin fizikokimyasal özellikleri ve aroma bileşenleri yetiştirildikleri ekolojilere alana göre önemli farklılıklar gösterebilmektedir. Bu çalışmada, Türkiye'de farklı lokasyonlarda yetiştirilen kirazlar karakterize edilmiş ve yetiştirildikleri lokasyonlara göre fizikokimyasal özellikleri ve aroma bileşenleri karşılaştırılmıştır. Konya iline bağlı Akşehir ilçesi, İzmir iline bağlı Kemalpaşa ilçesi, Manisa iline bağlı Salihli ilçesi, Malatya ili Yeşilyurt ilçesi, Isparta ili Uluborlu ilçelerinde yetiştirilmiş 0900 Ziraat çeşidi kirazlar araştırmada kullanılmıştır. Meyve eni ve meyve ağırlığı bakımında Salihli lokasyonunda yetiştirilen kirazların diğerlerine göre daha büyük olduğu; renk değerleri için ise Yeşilyurt lokasyonunda yetiştirilen kirazların koyu kırmızı renkleri ile diğerler lokasyonlarda yetiştirilen kirazlardan farklılaştığı tespit edilmiştir. Toplam asitlik Kemalpaşa lokasyonunda en yüksek, suda çözünür kuru madde Salihli lokasyonunda en yüksek değerde bulunmuştur. Özellikle meyvemsi ve çiçeksi aromalara sahip aroma bileşenleri Yeşilyurt lokasyonunda yetiştirilen kirazlarda yüksek oranda tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda kirazların yetiştirildiği lokasyonun çeşitli kalite özellikleri üzerinde yüksek düzeyde etkisi olduğu ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kiraz, Fizikokimyasal özellikler, Aroma profili, Coğrafi köken.

Determination of Some Physicochemical Properties and Aroma Components of Sweet Cherries (*Prunus avium*) Grown in Different Locations

Abstract

The physicochemical characteristics and aroma components of the fruits may differ significantly depending on the ecology in which they are grown. In this study cherries grown in different locations in Turkey were characterized and their physicochemical properties and aroma components were compared according to the locations they are grown. 0900 Ziraat variety cherries grown in Akşehir district of Konya province, Kemalpaşa district of İzmir province, Salihli district of Manisa province, Yeşilyurt district of Malatya province, Uluborlu district of Isparta province were used in the study. In terms of fruit width and fruit weight, cherries grown in Salihli location are larger than others; For the color values, it was determined that the dark red color of the cherries grown in the Yeşilyurt location differentiate them from the cherries grown in the other locations. Total acidity was highest in Kemalpaşa location and total soluble solids content was highest in Salihli location. Aroma components with fruity and floral notes were found in high quantities in cherries grown in Yeşilyurt location. As a result it is determined that the locations which cherries are grown has a high level of influence on various quality characteristics.

Keywords: Cherry, Physicochemical properties, Aroma profile, Geographical origin.

*Sorumlu Yazar: Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 06830, Ankara, Türkiye, ORCID: 0000-0002-9056-4576, ozdenilhan90@gmail.com

1. Giriş

Kiraz, Avrupa ve Asya'ya özgü olan Rosaceae familyasında bulunan *Prunus avium* cinsine aittir. Kirazın kökeni Orta Avrupa'da, Hazar ve Karadenizi çevreleyen bölgelerdedir (Wünsch ve Hormaza 2002). Türkiye iklim özellikleri ve coğrafi konumu sayesinde kiraz yetiştiriciliği için uygun koşullara sahiptir. Türkiye'de yetiştiriciliği yapılan kiraz çeşitleri arasında en yaygın olanı 0900 Ziraat çeşididir. 0900 Ziraat çeşidi, çok geççi, meyvesi geniş kalp şeklinde, çok iri, parlak koyu kırmızı renkli, çok sert, gevrek, sulu ve çok kalitelidir (Başkaya 2009).

Kiraz üretim alanı ve üretim miktarı açısından ilk sırada yer alan Türkiye, Dünya kiraz ihracatında Şili ve ABD'den sonra üçüncü sırada yer almaktadır (Çelik ve Sarıaltın 2019). Türkiye'de kiraz üretim alanı ve üretim miktarında da son yıllarda ciddi artışlar olmuştur. Kiraz üretim miktarı 2004 yılı ile 2017 yılı arasında yaklaşık olarak 3 kat artışla 245 bin tondan 627 bin tona yükselmiştir. Türkiye'deki bazı belirli yöreler, yüksek kaliteli kiraz üretimi ile ünlenmiştir. Bu bölgelerde yetiştirilen kirazlar sadece tüketiciler tarafından istenen özelliklere sahip olmakla kalmaz, aynı zamanda daha yüksek katma değere sahiptir. Tüketicilerin ürünlerin kökeni konusunda yanıtılmasını engellemek için farklı yasal düzenlemeler ülkeler ve Türkiye genelinde yürürlüğe konulmuştur (Karoui vd. 2005, Bitzios vd. 2017). Coğrafi işaretler, ürünlerin nitelikleri, üretim kaynağının bilinirliği ile bir yöre, bölge ya da ülkeye ait olduğunun tescilidir. Bu tescil, ürünün esas nitelik veya özelliklerinin belirtilen alana, bölgeye özgü olduğunun, buradaki doğal ya da beşeri unsurlardan kaynaklandığının göstergesidir. Avrupa Birliğinin yerel gıdaların coğrafi işaret ile korunmasına ilişkin temel düzenlemesi Tarım Ürünleri ve Gıda Maddelerinde Kalite Plânlamasına İlişkin 21 Kasım 2012 tarih ve 1151/2012 sayılı tüzüktür. Türkiye'de ise coğrafi işaretli ürünler 6769 sayılı Sınai Mülkiyet Kanunu'nun m. 33-54 hükümlerinde düzenlenmektedir. Türkiye'de coğrafi işaret tescilli 5 (Darboğaz Kirazı, Ereğli Beyaz Kirazı, Malatya Dalbastı Kirazı, Salihli Kirazı, Akşehir Kirazı), başvuru aşamasında ise 5 (Uluborlu Kirazı, Sultandağı Gıllı Kirazı, Sultandağı Kirazı, Honaz Kirazı, Kemalpaşa Kirazı) bulunmaktadır.

Kirazların tüketici tarafından kabul görmesini etkileyen ana kalite özellikleri, tatlılık, ekşilik, kabuk rengi, meyve sertliği ve meyve boyutudur (Crisosto vd. 2003, Muskovics vd. 2006, Ferretti vd. 2010). Kabuk rengi, taze kirazın kalite ve olgunluğunun en önemli göstergesidir ve antosiyanin içeriğine göre değişiklik gösterir (Esti vd. 2002). Meyve ağırlığı ve büyüklüğü, kirazların ticari pazar değeri için çok önemli özelliklerdir ve büyük boyutlu kirazlar daha fazla görsel çekiciliğe ve daha fazla meyve miktarına sahip olduklarından, çoğu tüketici tarafından belirgin bir şekilde tercih edilmektedir (Looney vd. 1996, Blažková vd. 2002). SÇKM kiraz için olgunluk göstergesi olarak kabul edilir (Kappel vd. 1996). SÇKM ve titrasyon asitliği (TA), lezzet yoğunluğu ile ilişkilidir, daha yüksek SÇKM ve TA daha yüksek kabul edilebilirlik göstergesidir. SÇKM / TA oranı, tatlılık algısı ile ilişkilidir (Crisosto vd. 2003). Bieniek vd. (2011), Faniadis vd. (2010) ve Gonçalves vd. (2004) kiraz çeşitlerinin kimyasal bileşiminin çevresel koşullardan etkilendiğini göstermiştir.

Kirazın kendine has aromasını oluşturan 100'den fazla uçucu bileşik tanımlanmıştır. Kirazın aroma profiline katkıda bulunan bileşikler çoğunlukla karbonil, alkol, asit, ester, terpen ve norizoprenoidlerdir. Aldehitler heksanal, (E)-2-heksenal ve benzaldehid kirazlarda baskın uçucu aroma bileşenleridir. C6

aldehitler, heksanal ve (E)-2-heksenal, yağ asitlerinin lipoksijenaz aktivitesi ile oluşturulur ve yeşil / çimenli notalarla ilişkilidir (Serradilla vd. 2012). Kirazda en bol bulunan alkoller, çoğu ilgili aldehitlerinin indirgenmesinden elde edilen benzil alkol, 1-heksanol ve (E)-2-heksen-1-ol'dür. (E)-2-heksen-1-ol ve benzil alkol, yeşil notalar ve meyve ile karakteristik olarak ilişkili taze yeşil koku ile ilgilidir ve kirazlarda baskın lezzet uçucuları olarak kabul edilir.

Bu kapsamda, bu çalışmanın amacı Türkiye'de farklı lokasyonlarda yetiştirilen kirazları karakterize etmek ve yetiştirildikleri lokasyonlara göre fizikokimyasal özelliklerini ve aroma bileşenlerini karşılaştırmaktır. Ülkemizde yetiştirilen farklı kiraz çeşitleri üzerine araştırmalar mevcut olsa da coğrafi kökenin kiraz üzerine olan etkilerini inceleyen bir araştırma bulunmamıştır. Araştırmaya konu kirazların karakterizasyonu ileri dönemlerde yapılacak araştırmalara referans sağlayacaktır. Araştırma için seçilen kirazların özelliklerinin ortaya konması, taklitleri ortaya çıkarabilecek analiz parametrelerini ortaya çıkarma konusunda katkı sağlayacaktır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Bu çalışmada materyal olarak 2018 ve 2019 yıllarında Konya iline bağlı Akşehir ilçesi, İzmir iline bağlı Kemalpaşa ilçesi, Manisa iline bağlı Salihli ilçesi, Malatya ili Yeşilyurt ilçesi, Isparta ili Uluborlu ilçelerinde yetişen ticari olgunluk seviyesinde (14-16°Briks) 0900 Ziraat çeşidi kirazlar kullanılmıştır. Akşehir ilçesinden 5, Kemalpaşa ilçesinden 4, Yeşilyurt ilçesinden 3, Salihli ilçesinden 4, Uluborlu ilçesinden 5 farklı kiraz örneği temin edilmiştir. Kirazlar haziran ayının üçüncü ve dördüncü haftalarında toplanmıştır.

2.2.1. Fizikokimyasal analizler

Meyve ağırlığı (MA) üç tekrürde, rastgele seçilmiş 10 adet kirazın 0.01 g'a duyarlı hassas terazi ile doğrudan tartılmasıyla ölçülmüştür. Meyve eni (mm) dijital kaliper ile rastgele seçilmiş 30 adet kirazın en geniş kısmının ölçülmesi ile belirlenmiştir. Meyve rengi Minolta spektrofotometre cihazı (CR-400, Minolta Co., Tokyo, Japonya) ile CIE L*, a*, b* cinsinden ölçülmüştür. Rastgele alınmış 20 adet kirazın ön ve arka yanağından ölçüm yapılarak ortalamaları alınmıştır. Suda çözünür kuru madde içeriği 3 tekrürde 10 adet kirazın meyve suyu çıkarılarak Atago RX-5000 marka dijital refraktometre ile belirlenmiştir. Titre edilebilir asitlik 0.1 N NaOH çözeltisi ile pH 8.1'e titre edilen örnek için ve harcanan baz çözeltisi miktarından titrasyon asitliği (malik asit cinsinden) hesaplanmıştır. pH değeri, pH-metre ile potansiyometrik olarak saptanmıştır.

Toplam fenolik madde ve antioksidan aktivitesinin belirlenmesi için ekstraksiyon işlemleri Thaipong vd. (2006)'e göre yapılmıştır. Toplam Fenolik Madde miktarı Singleton ve Rossi (1965) tarafından önerilen Folin Ciocalteau metodu kullanılarak ölçülmüştür. Sonuçlar, 2,5 ppm, 5 ppm, 10 ppm, 20 ppm, 30 ppm ve 40 ppm gallik asit standartlarının okunmasıyla oluşturulan kalibrasyon eğrisinden faydalanarak hesaplanmış ve mg GAE/100 g olarak ifade edilmiştir.

DPPH serbest radikal indirgeme metodu ile toplam antioksidan aktivitenin belirlenmiştir. Meyvenin metanollü ekstraktı DPPH çözeltisi ile karıştırılıp 30 dakika karanlıkta bekletilip ve absorban spektrofotometrede 517 nm'de okuma yapılmıştır. Sonuçlar % olarak ifade edilmiştir (Lee vd. 2003).

2.2.2. Aroma bileşenleri analizi

Uçucu bileşenlerin izolasyonu Hayaloğlu ve Demir (2015) tarafından önerilen yöntem modifiye edilerek gerçekleştirilmiştir. 20 mL'lik vial 4 g homojenize örnek, 10µL iç standart (3-Octanol 10 ppm çözeltisi) ve 1 g NaCl eklenerek septumlu kapak kapatılmış ve 30 saniye vortekslenmiştir. Viallerin içerisine manyetik balık konularak 600 rpm hızında, 40 °C 'de 20 dk şartlanmış, süre sonunda SPME fiberi (2cm 50/30 µm PDMS/DVB Supelco, Bellefonte, PA, USA) vialin tepe boşluğuna daldırılarak 40 dk uçucu bileşiklerin absorplanması sağlanmıştır (Sekil 3.4). Sonrasında zaman geçirilmeksizin fiber GC-MS cihazına enjekte edilmiş ve analiz gerçekleştirilmiştir. Uygulamalar arasında fiber 250 °C 'de 10 dakika koşullandırılmıştır.

Aroma analizi Shimadzu, QP-2010 model GC-MS kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Cihazda Supelco PTE-5 (I.D. 30 m × 0.32 mm, df 0.32 µm) kolonu kullanılmıştır. GC-MS ile ön denemeler yapılarak piklerin iç içe girmesi gözlemine bağlı olarak sıcaklık ve süre programı modifiye edilmiştir. Enjeksiyon sıcaklığı: 250°C, basınç: 22.2 kPa, kolon akış hızı: 1.80 mL/dk, kolon sıcaklığı 1: 40°C, bekleme süresi: 5 dakika, artış hızı: 5°C/dakika, kolon sıcaklığı 2: 230°C, son bekleme süresi: 5 dk, split yok) analizlerde kullanılmıştır. GC-MS koşulları ile detaylar Çizelge 3.2'de gösterilmiştir. C7-C30 alkan serisi belirlenen yöntem ile cihaza enjekte edilerek RI doğrulaması yapılmıştır. Piklerin belirlenmesi için FFNSC ve NIST GC-MS kütüphanelerinde pikler tanımlanmıştır. Kirazlarda bulunan uçucu aroma bileşenleri µg/100 g meyve ağırlığı cinsinden tespit edilmiştir.

2.2.3. İstatistiksel analiz

İstatistiksel analizlerin gerçekleştirilmesinde SPSS V23 paket programı kullanılmıştır. Aroma profili analizleri iki kez, diğer tüm ölçümler ve denemeler üç kez tekrarlanmıştır. Araştırma kapsamında elde edilen bulguların normal dağılıma uygunluğu Shapiro-Wilk testi ile incelenmiştir. Lokasyona göre normal dağılan verilerin karşılaştırılmasında tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ve normal dağılmayan veriler için Kruskal Wallis testi uygulanmıştır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Fizikokimyasal özellikler

Farklı lokasyonlarda yetiştirilen kirazların fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Örneklerin meyve eni 23,09-29,55 mm, meyve ağırlığı ise 6,14-11,46 g arasında değişmiştir. Salihli ve Kemalpaşa lokasyonlarında yetiştirilen kirazların meyve eni ve meyve ağırlığı değerlerinin diğer lokasyonlara göre daha yüksek olduğu görülmüştür. İstatistiksel testlere göre farklı lokasyonlarda yetiştirilen kirazların meyve eni ve ağırlığı ortalamaları arasındaki farklar önemli düzeydedir (p<0,05). Bu farklılık Salihli lokasyonunun ortalamasının Yeşilyurt lokasyonunun ortalamasından yüksek olarak elde edilmesinden kaynaklanmaktadır. Meyve ağırlığı ortalamaları arasındaki farklılık ise Salihli lokasyonunun ortalamasının Yeşilyurt ve Uluborlu lokasyonlarının ortalamasından yüksek olarak elde edilmesinden kaynaklanmaktadır. Küden ve Küden (2004), Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümünde 1991-1993 yılları arasında bazı kiraz çeşitlerinin pomolojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yaptıkları çalışmada üç yıllık sonuçlara göre, ortalama meyve ağırlıklarını, Akşehir Napolyonu'nda 7,3 g, Malatya Dalbastı'da 7,37 g ve e-ISSN: 2148-2683

0900 Ziraat'ta ise 7,43 g olarak saptamışlardır. Küden (2000), 1982 yılında Orta Toroslara uygun kiraz çeşitlerinin saptanması amacıyla yapılan ve 1994'de biten araştırma sonucunda kiraz çeşitlerinden en iri meyveli olanları Larian (8,31 g), 0900 Ziraat (8,02 g) ve Çorum (7,89 g) olarak saptamışlardır. Yalova koşullarında 0900 Ziraat çeşidinin SÇKM miktarını 15,10°briks (Göksel ve Aksoy 2014), İzmir koşullarında 15,63°briks (Eroğul 2014), Tokat koşullarında mahlep anacı üzerine aşıllı olanlarda 16,08°briks (Bolsu ve Akça 2014), Gisela 5 üzerine aşıllı olanlarda ise 14,2°briks (Öztürk 2013), Adana koşullarında 13,60°briks (Sütyemez 2000) olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçların Eroğul (2016) tarafından bildirilen değerlere benzer olduğu görülmektedir. Nitekim literatürde bulunan en yüksek meyve eni Kemalpaşa'da üretilen kirazlarda saptanmıştır. Ancak mevcut çalışmada Isparta Uluborlu ilçesinde yetiştirilen kirazlar için belirlenen meyve eni ve ağırlığı değerleri Delice vd. (2012) tarafından belirtilen değerlere göre daha düşüktür.

Örneklerin renk değerleri incelendiğinde, L değeri 27,54 - 31,67, a değeri 10,4 - 29,42 ve b değeri 3,98 - 9,58 arasında değişmiştir. Hunter LAB renk ölçüm yönteminde kullanılan parametrelerden L değeri 0 (siyah) ile 100 (beyaz) aralığı arasında açıklık-koyuluk spektrumunu, a değeri -60 (yeşil) ile +60 (kırmızı) aralığında yeşil-kırmızı spektrumunu ve b değeri -60 (mavi) ile +60 (sarı) aralığında mavi-sarı spektrumunu temsil etmektedir. İstatistiksel testlere göre farklı lokasyonlarda yetiştirilen kirazların a ve b renk değeri ortalamaları arasındaki farklar önemli düzeyde bulunmuştur (p<0,05). Bu farklılık a değeri için Uluborlu lokasyonunun ortalamasının Yeşilyurt lokasyonunun ortalamasından yüksek olarak elde edilmesinden, b değeri için ise Uluborlu lokasyonunun ortalamasının diğer lokasyonlarının ortalamasından yüksek olarak elde edilmesinden kaynaklanmaktadır. Çalışma sonucunda Uluborlu'da yetiştirilen kirazlar için elde edilen renk değerleri Erbaş vd. 2008 ve Çetinbaş ve Butar 2013 çalışmalarında belirtilen L değeri için benzer ancak a ve b değerleri ise daha yüksektir. L değeri yükseldikçe kiraz rengi açık kırmızıya yaklaşmaktadır, a ve b değeri yükseldikçe ise kiraz rengi kızıl kahve renkten bayrak kırmızı rengine yaklaşmaktadır. Bu kapsamda Yeşilyurt ilçesinde yetişen kirazların daha koyu kırmızı renkte olduğu görülmektedir.

Örneklerin suda çözünür kuru madde oranı 12,8- 20,16° Briks arasındadır. Toplam asitlik ise 0,83 - 1,87 g malik asit / 100 g meyve ağırlığı arasındadır. pH 3,36 - 4,29 arasında değişiklik göstermektedir. Toplam asitlik için bu fark Kemalpaşa lokasyonunun ortalamasının Akşehir ve Uluborlu lokasyonlarının ortalamalarından yüksek olarak elde edilmesinden kaynaklanmaktadır. Suda çözünür kuru madde değeri için ise bu fark Salihli lokasyonunun ortalamasının Uluborlu lokasyonunun ortalamasından yüksek olarak elde edilmesinden kaynaklanmaktadır.

Çalışmada Toplam fenolik madde miktarı analizi yapılan kirazlar için 67,89- 115,61 mg GAE/100g meyve ağırlığı arasında değişmektedir. En yüksek fenolik madde miktarı Kemalpaşa ilçesinde yetiştirilen kirazlar için kaydedilmiş olsa da, değerlerin ortalamaları arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Antioksidan aktivite değeri ise %61,59- %92,21 arasında değişmiş, en yüksek antioksidan aktivite toplam fenolik madde ile benzer şekilde Kemalpaşa ilçesinde üretilen kirazlar için kaydedilmiştir. Lokasyona göre antioksidan aktivite değerlerinin ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır (p<0,001). Bu farklılık Salihli lokasyonunun ortalamasının Akşehir, Kemalpaşa ve Yeşilyurt lokasyonlarının ortalamalarından düşük olarak elde edilmesinden

kaynaklanmaktadır. 0900 Ziraat çeşidinde bulunan toplam fenolik madde ve antioksidan kapasite ile ilgili olarak da çalışmada Bal, Tekirdağ koşullarında yürüttüğü çalışmada Toplam Fenolik Madde miktarını 129,7 mg / GAE 100g⁻¹ ve 142,23 mg / GAE 100g⁻¹ olarak bildirmiştir (2012). Ağlar vd. 2015 hasat yılında Sivas'ta gerçekleştirdiği çalışmada Toplam Fenolik Madde miktarını 573 mg / GAE 100g⁻¹, antioksidan kapasite ise TEAC

yöntemi ile 2,94 µmol TE g⁻¹ meyve ağırlığı, FRAP yöntemi ile 2,97 µmol TE g⁻¹ meyve ağırlığı olarak bildirmiştir (2017). Araştırmada elde edilen sonular önceki çalışmalarla benzerlik göstermektedir.

Tablo 1. Farklı bölgelerde yetiştirilen kirazların fizikokimyasal özellikleri

	Lokasyonlar					p
	Akşehir	Kemalpaşa	Yeşilyurt	Salihli	Uluborlu	
Meyve Ağırlığı (g)	7,918±0,334 ^a b	8,465±1,552 ^a b	7,773±1,232 ^a	10,323±1,24 5 ^b	7,61±1,311 ^a	0,027
Meyve Eni (mm)	25,108±0,711 ab	26,4±1,937 ^{ab}	24,607±1,09 6 ^a	28,035±1,57 3 ^b	25,034±1,712 ab	0,029
Suda Çözünür Kuru Madde (°Briks)	15,926±2,52 5 ^{ab}	17,01±1,247 ^a b	17,463±0,64 7 ^{ab}	18,153±0,74 6 ^b	14,304±1,362 a	0,019
Toplam Asitlik (g/100g Malik Asit)*	1,016±0,205 ^a	1,588±0,216 ^b	1,303±0,31 ^{ab}	1,248±0,086 ab	0,996±0,19 ^a	0,003
pH	3,948±0,142	3,925±0,034	3,653±0,499	3,92±0,262	4,046±0,149	0,477
L	29,074±0,94 1	28,283±0,97 7	28,53±0,859	29,023±0,41 9	30,458±0,98	0,051
a	20,414±2,64 1 ^{ab}	20,963±1,15 ^a b	17,43±6,096 ^a	19,23±2,668 ab	25,492±3,289 b	0,029
b	6,144±1,324 ^a	5,945±1,054 ^a	5,353±1,208 ^a	6,408±0,666 a	8,702±0,71 ^b	0,002
Toplam Fenolik Madde (mg gae/100g MA)	88,886±4,27 7	94,973±22,7 91	90,48±6,488	74,738±6,9	82,194±13,18 8	0,341
Antioksidan Aktivite (%)	86,441±3,55 7 ^b	88,948±4,96 9 ^b	87,701±2,35 3 ^b	65,448±4,17 2 ^a	78,566±13,09 ab	<0,001

a-b: Aynı harfe sahip lokasyonlar arasında fark yoktur *Malik asit cinsinden

3.2. Aroma bileşenleri

Farklı lokasyonlarda yetiştirilen kirazların aroma profili analiz sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. Araştırmada SPME/GC-MS analizi 28 farklı aroma bileşeni tanımlanmıştır. Araştırma sonucunda Akşehir lokasyonunda yetiştirilen kirazlarda 28, Kemalpaşa lokasyonunda yetiştirilen kirazlarda 25, Yeşilyurt lokasyonunda yetiştirilen kirazlarda 22, Salihli lokasyonunda yetiştirilen kirazlarda 23 ve Uluborlu lokasyonunda yetiştirilen kirazlarda 27 adet aroma bileşeni tespit edilmiştir.

Kirazların serbest ve glikosidik olarak bağlı uçucu bileşenlerinin analiz edildiği çalışmalarda 100'den fazla uçucu bileşik tanımlanmıştır. Yapılan çalışmalarda kirazların aroma profiline katkıda bulunan bileşenlerin kimyasal sınıfları başlıca aldehitler, alkoller, asitler, esterler, terpenler ve ketonlardır. Aldehitler; hexanal, (E)-2 hexenal ve benzaldehit, hem kirazlarda hem de vişnelerde baskın uçucu aroma bileşenleridir. Diğer bazı alifatik aldehitlerin de koku eşikleri nedeniyle bazı çeşitlerde aromaya büyük katkı sağladığı gösterilmiştir (Serradilla vd. 2012, Zhang vd. 2007). (Z) -3-hexenal, decanal, nonanal, (E, Z) -2,6-nonadienal ve (E, E) -2,4-nonadienal bileşikleri 'Lapins' de önemli kokular olarak belirlenmiştir. Ketonlar da kirazların aromasında önemli bir role sahiptir. 2-propanon bileşikleri; 4 -metil-2-pentanon, 1-okten-3-on ve 4,6-dimetil-2-heptanon, kiraz çeşitlerinin bazılarında bulunmuştur (Girard ve Kopp 1998). Kirazda bulunan benzil alkol, 1-heksanol ve (E) -2-heksen-1-ol yeşil notalar ve meyvelerle karakteristik olarak ilişkilendirilir ve kirazlarda baskın tat uçucu maddeler olarak kabul edilir. Etil asetat, butil asetat, heksil asetat, (Z) -2-heksenil asetat ve (E) -2-

heksenil asetat kiraz çeşitlerinde bulunan ana ester bileşikleri arasındadır (Girard ve Kopp 1998). Kiraz çeşitlerindeki aromatik bileşenleri analiz eden çoğu çalışma, terpenlerin ve norisoprenoitlerin toplam uçucu bileşikler içinde az miktarda bulunduğunu göstermiştir; limonen, linalool ve geranilaseton en yaygın olanlardır (Girard ve Kopp, 1998, Goliáš vd.2012, Serradilla vd. 2012). Wen vd. (2014), üç tatlı kiraz çeşidinde ('Hongdeng', 'Hongyan' ve 'Rainier') hem serbest hem de glikosidik olarak bağlı aromatik bileşiklerin oluşumunu rapor etmiş ve linalool ve geraniol bileşenlerinin kiraz aromasına önemli ölçüde katkıda bulunduğunu ve çiçek özellikleriyle ilişkilendirildiğini göstermiştir.

Sunulan bu çalışmada, diğer çalışmalara paralel olarak benzaldehit, benzil alkol, nonanal ve (E)-2-Heksen-1-ol-bileşikleri tüm kiraz örneklerinde yüksek miktarda tespit edilmiştir. 0900 Ziraat çeşidi kirazların aroma bileşenleri ile ilgili tek veri Hayaloğlu vd. çalışmasında bulunmaktadır (2016). Bu çalışmada kullanılan kirazlar Malatya bölgesinde yetiştirilmiştir ve 53 uçucu bileşen tespit edilmiştir. (E)-2-Heksenal ve Heksanal yüksek miktarda tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada ise Malatya bölgesinde yetiştirilen kirazlarda sırası ile Benzaldehit, benzil alkol ve (E)-2-Heksen-1-ol- en yüksek oranda tespit edilen bileşiklerdir.

İlginç şekilde benzaldehit ve benzil alkol tüm örneklerde yüksek miktarda bulunsun da yöreler arasında bileşiminde istatistiki açıdan fark bulunmamıştır. Yapılan istatistiksel analiz sonucunda farklı lokasyonlarda yetiştirilen kirazların 1-Oktanol, 1-Propanol,2-(2- hidroksipropoksi), (E)-2-Heksen-1-ol-, Fenilettil

Alkol, (E)-2-Heksenal-, (E,Z)-2,6-nonadienal, 2-Heptanon, Carvacrol, alpha- İyonon, Linalool, alpha-terpineol bileşenleri ortalamaları arasındaki farklar anlamlı bulunmuştur. Bu kapsamda özellikle alkol ve terpenoid bileşiklerinin oranının kirazların yetiştirildiği lokasyona göre değişiklik gösterdiği

görülmektedir. Verilerden görüleceği üzere farklılıkların çoğu Yeşilyurt lokasyonunda yetişen kirazların yüksek miktarda aromatik bileşen içermesinden kaynaklanmaktadır.

Tablo 2. Farklı bölgelerde yetişen kirazların aroma bileşenleri

	Lokasyonlar					P
	Akşehir	Kemalpaşa	Yeşilyurt	Salihli	Uluborlu	
1-Oktanol	1,736±0,612 _{ab}	1,47±0,537 ^{ab}	2,69±0,634 ^a	1,05±0,436 ^b	1,255±0,242 _{ab}	0,027
1-Propanol, 2- (2 hidroksipropoksi)	1,08±0,459 ^{ab}	0,362±0,454 ^a	1,377±0,551 ^b	0,404±0,36 ^a	0,669±0,065 ^{ab}	0,016
(E) -2-Heksen-1-ol-	0,806±0,693 ^a	4,845±0,94 ^a	10,199±2,672 _b	1,077±0,85 ^a	2,671±3,517 ^a	<0,001
Benzil alkol	10,727±6,254	4,57±3,912	10,943±3,991	3,127±0,342	12,745±5,939	0,050
Feniletil Alkol	0,602±0,279 _{ab}	0,199±0,233 _{ab}	0,97±0,422 ^a	0,07±0,14 ^b	0,531±0,341 _{ab}	0,013
(E) -2-Heksenal -	0,317±0,709 ^a	6,438±2,632 ^b	3,657±0,325 ^{ab}	3,446±2,669 _{ab}	2,205±2,304 _{ab}	0,026
(E) -2-Oktenal	0,552±0,236	0,429±0,171	0,547±0,096	0,076±0,152	0,56±0,143	0,050
Benzaldehit	9,714±4,197	12,137±6,394	12,968±3,347	5,509±0,964	8,97±7,344	0,355
Decanal	0,982±0,333	1,629±0,502	3,397±1,743	0,913±0,533	1,161±0,889	0,050
2-Decenal	0,323±0,244	0,077±0,091	0,129±0,223	0,05±0,099	0,363±0,242	0,087
Heptanal	0,057±0,128	0,362±0,435	n.d.	0,103±0,206	0,216±0,198	0,358
Hexanal	0,533±1,192	3,042±2,416	4,663±1,348	2,014±1,498	2,908±1,749	0,076
Dodecanal	0,131±0,293	0,058±0,116	0,349±0,605	n.d.	0,08±0,178	0,814
(E, Z) -2,6-nonadienal	0,151±0,161 ^b	0,184±0,144 ^b	0,515±0,141 ^a	n.d. ^b	0,181±0,106 ^b	0,001
Nonanal	3,87±1,204	5,903±2,233	7,673±0,452	4,389±2,262	3,533±0,467	0,050
2-Etilheksil benzoat	1,102±1,181	0,589±0,429	6,882±0,472	0,541±0,466	0,52±0,148	0,091
(E) -2-heksen-1-il bütirat	0,057±0,126	0,246±0,199	0,265±0,23	n.d.	0,149±0,143	0,131
Oktil oktanoat	0,013±0,028	0,215±0,338	n.d.	1,125±1,779	n.d.	0,059
Heksil format	0,334±0,746	n.d.	n.d.	0,83±0,669	0,561±1,255	0,197
2-Heptanon	0,04±0,09 ^a	0,066±0,132 _{ab}	n.d.	0,036±0,071 ^a	0,834±0,468 ^b	0,006
2-Nonanone	0,277±0,386	n.d.	n.d.	0,038±0,077	0,482±0,339	0,073
Carvacrol	3,006±1,3 ^{ab}	0,873±1,093 ^a	3,656±1,853 ^b	1,247±0,561 ^a	1,866±0,294 ^{ab}	0,014
Carvone	2,025±1,857	1,377±1,033	3,805±0,371	2,362±1,974	1,738±0,372	0,212
Eugenol	0,164±0,228	n.d.	n.d.	3,67±4,045	0,264±0,364	0,108
Geraniol	0,099±0,178	0,333±0,449	0,303±0,313	n.d.	0,183±0,08	0,107
alfa-İyonon	0,068±0,116 ^{ab}	0,125±0,166 _{ab}	0,747±0,473 ^a	n.d. ^b	0,043±0,096 ^b	0,022
Linalool	2,421±0,945 ^b	0,711±0,359 ^{ab}	3,186±0,412 ^a	0,481±0,077	1,126±0,436 _{ab}	0,003

alfa-terpineol	1,234±0,644 ^{bc}	0,455±0,309 ^{ab}	1,632±0,699 ^c	0,177±0,206 ^a	0,541±0,215 ^{ab}	0,002
----------------	---------------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	---------------------------	--------------

n.d.:saptanmadı, a-c: Aynı harfe sahip lokasyonlar arasında fark yoktur

4. Sonuç

Bu çalışma ile Türkiye’de farklı lokasyonlarda yetiştirilen kirazların fizikokimyasal özellikleri ve aroma bileşimi araştırılmıştır. Fizikokimyasal özelliklerden meyve ağırlığı, meyve eni, suda çözünür kuru madde, toplam asitlik, renk değerleri ve antioksidan aktivite değerlerinin farklı lokasyonlar için ortalamaları arasındaki farklar önemli düzeyde bulunmuştur. Meyve eni ve meyve ağırlığı bakımında Salihli lokasyonunda yetiştirilen kirazlar diğerlerinden büyüktür. Renk değerleri için ise Yeşilyurt lokasyonunda yetiştirilen kirazlar koyu kırmızı renk ile diğerlerinden farklılaşmıştır. Toplam asitlik Kemalpaşa lokasyonunda en yüksek, SÇKM Salihli lokasyonunda en yüksek değerde bulunmuştur. Aroma bileşenlerinden ise 1-Oktanol, 1-Propanol, 2- (2-hidroksipropoksi), (E) -2-Heksen-1-ol-, Feniletıl Alkol, (E) -2-Heksenal-, (E, Z) -2, 6-nonadienal, alfa-İyonon, Linalool ve alfa-terpineol değerinin farklı lokasyonlarda yetiştirilen kirazlarda önemli derecede farklı olduğu bulunmuştur. Özellikle meyvemsi ve çiçeksi aromalara sahip bileşenler Yeşilyurt lokasyonunda yetiştirilen kirazlarda yüksek oranda tespit edilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda kirazların yetiştirildiği lokasyonun çeşitli kalite özellikleri üzerinde yüksek düzeyde etkisi olduğu değerlendirilmektedir. Bu çalışmanın yapılacak olan diğer çalışmalara kaynak sağlayacağı düşünülmektedir.

Kaynakça

Ağlar, E., Ozturk, B., Guler, S. K., Karakaya, O., Uzun, S. ve Saracoglu, O. (2017). Effect of modified atmosphere packaging and ‘Parka’ treatments on fruit quality characteristics of sweet cherry fruits (*Prunus avium* L. ‘0900 Ziraat’) during cold storage and shelf life. *Scientia Horticulturae*, 222(February), 162–168.

Bal, E. (2012). Effects of essential oil treatments combined with hot water treatment on improving postharvest life of sweet cherry. *Fruits*, 67(4), 285–291.

Başkaya, Z. (2009). Türkiye’de Kiraz Tarımının Coğrafi Esasları. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 26(26), 45–72.

Bieniek, A., Kaweckı, Z., Kopytowski, J. ve Zielenkiewicz, J. (2011). Yielding and fruit quality of Lithuanian sweet cherry cultivars grown under the climatic and soil conditions of Warmia. *Folia Horticulturae*, 23(2), 101–106.

Bitzios, M., Jack, L., Krzyzaniak, S. A. ve Xu, M. (2017). Country-of-origin labelling, food traceability drivers and food fraud: Lessons from consumers’ preferences and perceptions. *European Journal of Risk Regulation*, 8(3), 541–558.

Blažková, J., Hlušíčková, I. ve Blažek, J. (2002). Fruit weight, firmness and soluble solids content during ripening of Karešova cv. sweet cherry. *Hort. Sci.(Prague)*, 29(3), 92–98.

Crisosto, C. H., Crisosto, G. M. ve Metheney, P. (2003). Consumer acceptance of “Brooks” and “Bing” cherries is mainly dependent on fruit SSC and visual skin color. *Postharvest Biology and Technology*, 28(1), 159–167.

Çelik, Y. ve Saraltın, H. K. (2019). Türkiye’de Kiraz Üretiminin Yapısal Analizi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 6(4), 596–604.

Çetinbaş, M. ve Butar, S. (2013). Aminoethoxyvinylglycine (AVG) delays maturation and improves fruit size and firmness of

cv. “0900 Ziraat” sweet cherry. *European Journal of Horticultural Science*, 78(3), 126–131.

Delice, A., Ekinci, N. A., Özdüven, F. F. ve Gür, E. (2012). Lapseki’de Yetiştirilen 0900 Ziraat Kiraz Çeşidinin Kalite Özellikleri Ve Ekolojik Faktörler. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi Journal*, 9(3), 27–34.

Erbaş, D., Koyuncu, M. A., Özusoı, F. Ve Onursal, C. E. (2018). Derim öncesi putresin uygulamasının 0900 Ziraat kiraz çeşidinin meyve kalitesi üzerine etkileri. *Akademik Ziraat Dergisi*, 151–156.

Eroğul, D. (2016). İzmir İlinde Yetiştirilen Bazı Önemli Kiraz Çeşitlerinin Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 26(4), 579–585.

Esti, M., Cinquanta, L., Sinesio, F., Moneta, E. ve Di Matteo, M. (2002). Physicochemical and sensory fruit characteristics of two sweet cherry cultivars after cool storage. *Food Chemistry*, 76(4), 399–405.

Faniadis, D., Drogoudi, P. D. ve Vasilakakis, M. (2010). Effects of cultivar, orchard elevation, and storage on fruit quality characters of sweet cherry (*Prunus avium* L.). *Scientia Horticulturae*, 125(3), 301–304.

Ferretti, G., Bacchetti, T., Belleggia, A. ve Neri, D. (2010). Cherry antioxidants: from farm to table. *Molecules*, 15(10), 6993–7005.

Girard, B. ve Kopp, T. G. (1998). Physicochemical Characteristics of Selected Sweet Cherry Cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(2), 471–476.

Goksel, Z. ve Aksoı, U. (2017). Bazı Kiraz Çeşitlerinde Uygulanan Ön İşlemlerin Depolama Süresince Epikateşin ve Klorojenik Asit Miktarına Etkileri. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6, 207–214.

Goliáš, J., Němcová, A., Čaněk, A. ve Kolenčíková, D. (2007). Storage of sweet cherries in low oxygen and high carbon dioxide atmospheres. *Horticultural Science*, 34(1), 26–34.

Gonçaves, B., Landbo, A.-K., Knudsen, D., Silva, A. P., Moutinho-Pereira, J., Rosa, E. ve Meyer, A. S. (2004). Effect of Ripeness and Postharvest Storage on the Phenolic Profiles of Cherries (*Prunus avium* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(3), 523–530.

Hayaloglu, A. A. ve Demir, N. (2015). Phenolic Compounds, Volatiles, and Sensory Characteristics of Twelve Sweet Cherry (*Prunus avium*L.) Cultivars Grown in Turkey. *Journal of Food Science*, 81(1), C7–C18.

Karoui, R., Martin, B. ve Dufour, É. (2005). Potentiality of front-face fluorescence spectroscopy to determine the geographic origin of milks from the Haute-Loire department (France). *Le Lait*, 85(3), 223–236.

Küden, A. (2000). Sweet cherry (*Prunus avium* L.) selection studies in the middle taurus mountains. *Acta Horticulturae içinde* (C. 522, ss. 117–121).

Küden, A. B. ve Küden, A. (2004). Cherry (*Prunus avium* L.) growing under subtropical conditions. *Acta Horticulturae içinde* .

Lee, S. E., Hwang, H. J., Ha, J. S., Jeong, H. S. ve Kim, J. H. (2003). Screening of medicinal plant extracts for antioxidant activity. *Life Sciences*.

Looney, N. E., Webster, A. D. ve Kupferman, E. M. (1996). Harvest and handling sweet cherries for the fresh market.

Cherries, Crop Physiology, Production and Uses. CAB International, Wallingford, UK, 424–441.

Muskovics, G., Felföldi, J., Kovács, E., Perlaki, R. ve Kállay, T. (2006). Changes in physical properties during fruit ripening of Hungarian sweet cherry (*Prunus avium* L.) cultivars. *Postharvest biology and technology*, 40(1), 56–63.

Öztürk, B., Küçükler, E., Saraçoğlu, O. ve Yakup Özkan, K. Y. (2013). “0900 Ziraat” Kiraz Çeşidinin Meyve Kalitesi Ve Biyokimyasal İçeriği Üzerine Büyüme Düzenleyici Maddelerin Etkisi. Effect of Plant Growth Regulators on Fruit Quality and Biochemical Content of “0900 Ziraat” Sweet Cherry Cultivar., 10(3), 82–89.

Serradilla, Manuel Joaquín, Martín, A., Ruiz-Moyano, S., Hernández, A., López-Corrales, M. ve Córdoba, M. D. G. (2012). Physicochemical and sensorial characterisation of four sweet cherry cultivars grown in Jerte Valley (Spain). *Food Chemistry*, 133(4), 1551–1559.

Singleton, V. L. ve Rossi, J. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic. *American Journal of Enology and Viticulture*.

Sun, S. Y., Jiang, W. G. ve Zhao, Y. P. (2010). Characterization of the aroma-active compounds in five sweet cherry cultivars grown in Yantai (China). *Flavour and Fragrance Journal*.

Sütyemez, M. (2000). Bazı kiraz çeşitlerinde GA3 uygulamalarının meyve tutum ve meyve kalitesi üzerine etkileri. *Fen ve Mühendislik*, 3(1).

Wen, Y. Q., He, F., Zhu, B. Q., Lan, Y. Bin, Pan, Q. H., Li, C. Y., Wang, J. (2014). Free and glycosidically bound aroma compounds in cherry (*Prunus avium* L.). *Food Chemistry*, 152, 29–36.

Wünsch, A. ve Hormaza, J. I. (2002). Molecular characterisation of sweet cherry (*Prunus avium* L.) genotypes using peach [*Prunus persica* (L.) Batsch] SSR sequences. *Heredity*, 89(1), 56–63.

Zhang, X., Jiang, Y. Mao, Peng, F. Tian, He, N. Bo, Li, Y. Ju, Zhao, D. Chao. (2007). Changes of Aroma Components in Hongdeng Sweet Cherry During Fruit Development. *Agricultural Sciences in China*.



Comparison of Statistical and Machine Learning Algorithms for Forecasting Daily Bitcoin Returns

Betül Aygün^{1*}, Eylül Günay Kabakçı²

^{1*} İzmir Demokrasi Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, YBS, İzmir, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9610-9235), betul.aygun@idu.edu.tr
² İzmir Demokrasi Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat, İzmir, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5547-4316), eyul.kabakci@idu.edu.tr

(First received 5 November 2020 and in final form 23 January 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.822153)

ATIF/REFERENCE: Aygün, B., Günay Kabakçı, E. (2021). Comparison of Statistical and Machine Learning Algorithms for Forecasting Daily Bitcoin Returns. *European Journal of Science and Technology*, (21), 444-454.

Abstract

Increasing fluctuations in pricing and having great profit potential, utilization in advanced machine learning technologies to make robust predictions of cryptocurrencies especially bitcoin have attracted great attention in recent years. In this study, various statistical techniques; Moving Average Analysis and Autoregressive Integrated Moving Average and machine learning (ML) techniques; Artificial Neural Network, Recurrent Neural Network (RNN) and Convolutional Neural Network have been conducted and compared to predict the future value of Bitcoin cryptocurrency price. They have been applied for the univariate time series analysis with a window size of 32. To prove the usefulness of ML algorithms, and to show that the results of RNN is a better, mean squared error (MSE), mean absolute error (MAE), and mean absolute percentage error (MAPE) indicators have been applied. The study revealed that recurrent neural network yields better results than other methods in predicting daily Bitcoin price in terms of MSE, MAE and MAPE metrics. Besides, Wilcoxon-Mann-Whitney nonparametric statistic test is applied to test the performance between ARIMA and machine learning algorithms.

Keywords: Bitcoin, Statistical Analysis, Machine Learning, DNN, RNN, CNN, MVA, ARIMA.

Günlük Bitcoin Değerini Tahmin Etmek İçin İstatistiksel ve Makine Öğrenimi Algoritmalarının Karşılaştırılması

Öz

Fiyatlandırmada artan dalgalanmalar ve büyük kar potansiyeline sahip olan Bitcoin başta olmak üzere kripto para birimlerinin sağlam tahminini yapmak için gelişmiş makine öğrenimi teknolojilerinin kullanılması son yıllarda büyük ilgi gördü. Bu çalışmada çeşitli istatistiksel teknikler; Hareketli Ortalama Analizi ve Ototegresif Entegre Hareketli Ortalama ve makine öğrenimi (ML) teknikleri; Yapay Sinir Ağı, Tekrarlayan Sinir Ağı (RNN) ve Evrişimli Sinir Ağı, Bitcoin kripto para birimi fiyatının gelecekteki değerini tahmin etmek için uygulanmıştır ve bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu teknikler 35 pencere boyutu ile tek değişkenli zaman serisi analizi kapsamında uygulandı. Makine öğrenimi algoritmalarının yararlılığını kanıtlamak ve RNN sonuçlarının daha iyi olduğunu göstermek için ortalama hata karesi (MSE), ortalama mutlak hata (MAE) ve ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) göstergeleri uygulanmıştır. Çalışma, tekrarlayan sinir ağının MSE, MAE ve MAPE ölçümleri açısından günlük Bitcoin fiyatını tahmin etmede diğer yöntemlerden daha iyi sonuçlar verdiğini ortaya koydu. Bununla birlikte, ARIMA ve makine öğrenme algoritmalarının performansını karşılaştırmak için Wilcoxon-Mann-Whitney (WMW) parametrik olmayan istatistik testi uygulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bitcoin, Tahminleme, İstatistiksel Analiz, Makine öğrenmesi, DNN, RNN, CNN, MVA, ARIMA

* Corresponding Author: betul.aygun@idu.edu.tr

1. Introduction

The digital transformation, which we frequently encounter in all areas, started with Satoshi Nakamoto putting forward the idea of Bitcoin currency about 10 years ago in finance, which is probably one of the most difficult areas (Nakamoto, 2008). After Bitcoin is introduced, other digital cryptocurrencies such as Ethereum, XRP or Stellar, have emerged remarkably fast. However, Bitcoin still totally dominates the digital economy and has the biggest portion among cryptocurrencies. Market capitalization is almost 250 billion USD as of now according to the <https://www.coindesk.com/price/bitcoin> and 300.000 transactions occur per day in November 2020. On the contrary to classic currency, Bitcoin transaction is carried out between two parties without any need for the third trusted financial institution.

As in all financial currencies, predicting the future value of Bitcoin is started to become a very important and interesting subject area that gets attention by both researchers and economist because it is highly unpredictable (Higbee, 2018). As stated in the study of Zhang et al., there are four approaches for prediction in which two of which are traditional time series forecasting and machine learning algorithms (Zhang & Wan, 2007). For predicting the future values of the currency in the literature, time series analysis is generally carried out (Jalles, 2009). On the other hand, Refenes et al. claim that traditional statistical forecasting is fade out of the side due to the nonlinearities in the finance data set (Refenes, Zapranis, & Francis, 1994) In addition to this, several studies are presented that machine learning algorithms, having capability to adaptation both linear and nonlinear models, has advantages over traditional time series analysis (Zhang & Wan, 2007) (Yao & Tan, 2000). Moreover, using machine learning algorithms for time series analysis becomes popular and attractive for other engineering subjects (Özhan, 2020) (Güteryüz & Özden, 2020).

Starting from this point, during this study, for the prediction of Bitcoin currency, univariate time series analysis is performed and instead of not only classical traditional statistical analysis; moving average analysis and autoregressive integrated moving average analysis; but also, machine learning, and neural networks are applied to predict the future value. The first aim is to propose an algorithm that has high accuracy for forecasting. As a feature for the independent variable, only the closing price (USD) of Bitcoin daily has been considered. Since currency change is taken as daily, the dataset contains 2713 values. Secondly, analysis is performed to conclude that whether the various neural network learning algorithms for predicting the future value of the Bitcoin currency is applicable or not. From this point of view, one-layer artificial neural network, three-layer artificial neural network (ANN), a convolutional neural network (CNN) and a recurrent neural network (RNN) was applied (Tsai, Zeng, & Chang, 2018). These algorithms were compared by using three main metrics; mean absolute error, mean squared error, and mean absolute percentage error. Besides, the Wilcoxon-Mann-Whitney test was carried out to decide whether the differences between the performances of the models are statistically significant or not. Also, algorithms were examined according to the execution times. Further, since many studies about forecasting Bitcoin do not cross-validate which causes overfitting the data (Albariqi & Winarko, 2020), cross-validation to prevent it is carried out.

In summary, during this research, we design different neural networks architecture to predict the future value of the Bitcoin
e-ISSN: 2148-2683

cryptocurrency and discuss the suitability of these for the Bitcoin dataset. The main contribution stated during this study is summarized as below:

- In addition to statistical techniques, ANN, RNN and CNN were applied to predict the future Bitcoin price and the performance of these approaches over standard statistical approaches was discussed.
- The serious shortages caused by machine learning algorithms while designing neural networks were discussed and several recommendations to overcome them were given.

The study is structured as follows: In Section 2, the studies in the literature about Bitcoin forecasting are summarized. Section 3 details the theoretical background of used statistical methods and proposed artificial network designs with hyper-parameter optimization. Section 4 begins with data preprocessing and continues with the results of the techniques used. In Section 5, the results of the study are discussed and in Section 6, a conclusion is given, and several future works are proposed.

2. Literature Review

There exist two different approaches in the literature for the Bitcoin price prediction. In the first approach, researchers focus on the influences of some specific factors like trading volume, Bitcoin popularity and attractiveness. In this way, the explanatory concept is tried to be presented. Chen et al. and Liu et al. predicted the Bitcoin future value by using the technological parameters such as block size, mining profitability and economical parameters such as gold price or crude oil price with Bitcoin exchange rate. These types of studies are certainly impressive especially in selecting technological and economical determinants (Chen, Xu, Jia, & Gao, 2020) (Liu, Li, Li, Zhu, & Yao, 2020). From this approach, there exist enlightening studies in the literature. Moreover, instead of predicting the future value of Bitcoin, several studies focus on anomaly detection to observe currency fluctuations by using clustering algorithms like support vector machines, DBSCAN or k-means algorithms (Dokuz, Çelik, & Ecemiş, 2020).

In the second approach, researchers focus on just Bitcoin currency values such as opening, average, high or low values as time series analysis to predict the future value of Bitcoin. Since in this study, we predict the perspective of the second approach, only the studies about the second approach on literature are summarized in this section.

Since statistical techniques are more popular for time series analysis, there exist many studies that uses ARIMA model to forecast the future value of Bitcoin currency (Bakar & Rosbi, 2017) (Ayaz, Fiaidhi, Sabah, & Ansari, 2020) (Azari, 2019) (Alahmari, 2019) (Munim, Shakil, & Alon, 2019) (Yenidoğan, Çayir, Kozan, Dağ, & Arslan, 2018). Besides, in the study of Munim et al., it was claimed that forecast results of ARIMA is better than neural network autoregression (Munim, Shakil, & Alon, 2019). Greaves et al. and Atsalakis et al. proposed neuro-fuzzy models to predict values (Atsalakis, Atsalaki, Pasiouras, & Zopounidis, 2019) (Greaves & Au, 2015). Mudassir et al., Madan et al., and Lahmiri et al. all implemented support vector machine prediction algorithms (Mudassir, Bennbaia, Unal, & Hammoudeh, 2020) (Madan, Saluja, & Zhao, 2015) (Lahmiri & Bekiros, 2020). Besides, in these studies, random forest, kNN and neural network algorithms were also applied. In fact, there are

huge number of researchers that used the different type of neural networks mostly RNN for Bitcoin forecasting in the literature (Phaladisailoed & Numnonda, 2018) (Adcock & Gradojevic, 2019) (Nakano, Takahashi, & Takahashi, 2018) (McNally, Roche, & Caton, 2018). In addition, several researchers applied the LSTM to predict the future value of Bitcoin in their studies (Deokar, Dandage, & Jawandhiya, 2020) (Ulumuddin, Sunardi, & Fadlil, 2020) (Chen, Xu, Jia, & Gao, 2020). On the other hand, Liu et al. used the SDAE method to predict Bitcoin (Liu, Li, Li, Zhu, & Yao, 2020).

When the literature is carefully reviewed, it was seen that convolutional networks are rarely used for the Bitcoin price prediction. In the study of Li and Dai, hybrid network model combining CNN and LSTM is proposed (Li & Dai, 2020). Their results show that the hybrid model improves the accuracy compared with a single model.

There are different approaches categorized as daily, weekly, monthly, minutely, and secondly in the literature in terms of time interval of Bitcoin dataset. Madan et al. constructed three datasets, first one is daily values, the second one is 10 minutes time interval and the last one is 10 seconds interval (Madan, Saluja, & Zhao, 2015). Besides, several studies take into consideration of predicting other popular cryptocurrencies. Valencia et al. and Alahmari did not only predict Bitcoin but also predict the values of Ethereum, Ripple and Litecoin and XRP in their studies (Alahmari, 2019) (Valencia, Gómez-Espinosa, & Valdés-Aguirre, 2019).

The studies about Bitcoin price prediction are summarized in Table 2 in terms of the in which time interval the dataset is taken, and which algorithms are used to. The studies conducted since 2018 are handled, and they are sorted according to the publishing date from newest to oldest in Table 1.

3. Methodology

3.1. Theoretical Background of the Algorithms

Simple Moving average (SMA) analysis is the simplest forecasting method to predict the future value of time series data. It calculates the average of the values in the defined period of the data. It is a form of lagging indicator and evaluate the average Bitcoin price over time. SMA is a technical indicator to set the future value of the Bitcoin price with the average values in the previous N window size. The mathematical formula for SMA is as follows:

$$F_{n+1} = \frac{A_1 + A_2 + \dots + A_N}{N} = \frac{\sum_{i=1}^N A_n}{N} \quad (1)$$

F_{n+1} is the predicted value of (n+1).day and A_n , n is in [1, N] is the actual price value of n^{th} day. N is the window size that represents the closing Bitcoin prices taken in previous N days. Due to its simplicity in the background of the SMA theory, ARIMA method is applied.

ARIMA is a popular statistical analysis technique for forecasting time series data. After firstly introduced, it has widely used in many areas for prediction. It stands for Autoregressive integrated moving average and is represented as ARIMA(p,d,q). p parameter is used for autoregressive, which represents the relationship between an observation and number of lagged observations; and q is used for moving average part. d is the

degree of difference that makes the time series stationary. In the ARIMA model, p is the number of previous observations in autoregression and formulated as:

$$x_t = \phi_1 x_{t-1} + \phi_2 x_{t-2} + \phi_3 x_{t-3} + \dots + \phi_p x_{t-p} + \phi \quad (2)$$

In this model, q is the number of previous number of errors used and formulated as the following.

$$x_t = \theta - \theta_1 x_{t-1} - \theta_2 x_{t-2} - \theta_3 x_{t-3} - \dots - \theta_q x_{t-q} \quad (3)$$

Lastly, d is the number of differencing to make time-series data stationary. If d=1 then

$$\nabla x_t = x_t - x_{t-1} \quad (4)$$

By using the previous formula, the mathematical formulation to predict the x_t value is as the following in this study:

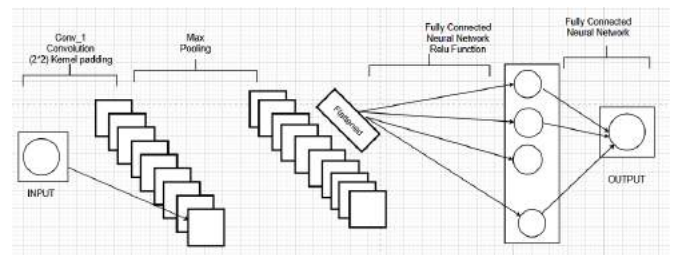
$$\nabla x_t = \phi_1 x_{t-1} + \phi_2 x_{t-2} + \phi_3 x_{t-3} + \dots + \phi_p x_{t-p} + \phi + \theta - \theta_1 x_{t-1} - \theta_2 x_{t-2} - \theta_3 x_{t-3} - \dots - \theta_q x_{t-q} \quad (5)$$

On the other hand, to apply ARIMA statistical technique, there are many constraints such as making data stationary or linearizing by taking the exponential of data. In addition, this method is generally poor at predicting turning points (Meyler, Kenny, & Quinn, 1998) (Wadi, 2018) which happens in our case.

Although the concept for artificial neural networks dates back to the 1950s, it is still used in many areas such as engineering, medical, finance and for several various data analyses like clustering, regression, classification, or prediction. During this study, we apply artificial neural network, convolutional neural network and recurrent neural network which are generally different in terms of theoretical background.

ANN, the simplest neural network, consisting of many layers in which it contains several neurons. It is a known as feed forward network in which the information passes in one direction through various nodes. A convolutional neural network contains convolutional layers that are connected or pooled entirely. In the convolutional layers, the input is transformed by using filters. The CNN network architecture used in this study is given in Figure 1.

Figure 1. CNN Network Architecture



On the other hand, the recurrent neural network is more complex and pass information in two directions and contains cycles and loops. The activation function used in all neural networks during this study is rectified linear unit (relu) function shown in the following formula:

Table 1. Summaries of Related Works

Studies	Time Interval/ Period	Algorithms
<i>Machine learning model for Bitcoin exchange rate prediction using economic and technology determinants</i> (Chen, Xu, Jia, & Gao, 2020)	Period I: August 2011 to December 2013 Period II: August 2011 to December 2014 Period III: July 2014 to December 2017 Period IV: July 2015 to July 2018	ANN, SVM, RF, LSTM, ARIMA
<i>Forecasting the price of Bitcoin using deep learning</i> (Liu, Li, Li, Zhu, & Yao, 2020)	July 2013 - December 2019	SDAE, BPNN, SVR
<i>Design & Implementation of Crypto Currency Prediction Using Machine Learning Approach</i> (Deokar, Dandage, & Jawandhiya, 2020)	Bitcoin: January 2012 to March 2018 (minutely)	RNN and LSTM
<i>Bitcoin price forecasting method based on CNN-LSTM hybrid neural network model</i> (Li & Dai, 2020)	December 2016 – August 2018	Hybrid of CNN with LSTM
<i>Forecasting the movements of Bitcoin prices: an application of machine learning algorithms</i> (Pabuçcu, Ongan, & Ongan, 2020)	2008-2019	SVM, ANN, NB and RF
<i>Prediction of Bitcoin Price Change using Neural Networks</i> (Albariqi & Winarko, 2020)	August 2010 to October 2017 / 2-days period	Multilayer Perceptron, RNN
<i>Bitcoin Price Prediction using ARIMA model</i> (Ayaz, Fiaidhi, Sabah, & Ansari, 2020)	August 2019 to January 2020 /daily	ARIMA
<i>Time-series forecasting of Bitcoin prices using high-dimensional features: a machine learning approach</i> (Mudassir, Bennbaia, Unal, & Hammoudeh, 2020)	Interval I April 2013 to July 2016 Interval II April 2013 to April 2017 Interval III April 2013 to December, 2019	ANN, SANN, SVM and LSTM
<i>Intelligent forecasting with machine learning trading systems in chaotic intraday Bitcoin market</i> (Lahmiri & Bekiros, 2020)	January 2016 to March 16, 2018 / 5 min interval	SVR, GRP, RT, kNN, BPNN, BRNN, and RBFNN
<i>Bitcoin Price Prediction: An ARIMA Approach</i> (Azari, 2019)	September 2015 to September 2018 / daily	ARIMA
<i>Using Machine Learning ARIMA to Predict the Price of Cryptocurrencies</i> (Alahmari, 2019)	Bitcoin April 28, 2013 to December 15, 2018 XRP April 8, 2013 to December 18, 2018 Ethereum August 7, 2015 to December 18, 2018 /daily, weekly, and monthly	ARIMA
<i>Next-Day Bitcoin Price Forecast</i> (Munim, Shakil, & Alon, 2019)	January 1, 2012 to October 4, 2018	ARIMA and neural network autoregression
<i>Bitcoin price forecasting with neuro-fuzzy techniques</i> (Atsalakis, Atsalaki, Pasiouras, & Zopounidis, 2019)	September 13, 2011 to October 12, 2017 / daily	Fuzzy Logics, Neural Networks, Adaptive Neuro Fuzzy Inference System
<i>Non-fundamental, non-parametric Bitcoin forecasting</i> (Adcock & Gradojevic, 2019)	July 19, 2010 to March 5, 2018 /daily	ARIMAX, GARCH; Linear Regression, Quantile Regression ANN, Recurrent ANN, Kernel regression
<i>Bitcoin technical trading with artificial neural network</i> (Nakano, Takahashi, & Takahashi, 2018)	July 31, 2016 15:00 (GMT) to January 24, 2018 07:30 (GMT) / 15 min interval	ANN with different layers, activation function and inputs
<i>Machine Learning Models Comparison for Bitcoin Price Prediction</i> (Phaladisailoed & Numnonda, 2018)	January 1, 2012 - January 18, 2018 / 1-minute interval	Theil Sen Regression, Huber Regression, LSTM, Gated Recurrent Unit
<i>Bitcoin Forecasting Using ARIMA and PROPHET</i> (Yenidoğan, Çayir, Kozan, Dağ, & Arslan, 2018)	May 2016 to March 2018 / daily	ARIMA and PROPHET
<i>Predicting the Price of Bitcoin Using Machine Learning</i> (McNally, Roche, & Caton, 2018)	August 2013 to July 2016 / daily	ARIMA, RNN and LSTM
<i>Forecasting of Bitcoin Daily Returns with</i>	July 2010 to January 17, 2018 / daily	

EEMD-ELMAN based Model (Khaldi, Afia, Chiheb, & Faizi, 2018)		EEMD-ELMAN based Model
Autoregressive integrated moving average (ARIMA) model for forecasting cryptocurrency exchange rate in high volatility environment: A new insight of bitcoin transaction (Bakar & Rosbi, 2017)	January 2013 to October 2017 / monthly	ARIMA
Automated Bitcoin Trading via Machine Learning Algorithms (Madan, Saluja, & Zhao, 2015)	/daily, 10 min interval, 10 sec intervals	Binomial GLM, Random Forest and SVM

$$\text{ReLU} = f(x) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ x, & x \geq 0 \end{cases} [0, \infty] \quad (6)$$

3.2. Hyper-Parameter Settings

For the design of each network of machine learning algorithms and each statistical method, there are diverse parameters such as number of hidden layers, nodes, learning parameter and window size that needs to be adjusted to reach satisfactory results.

For the SMA analysis, there is only one parameter; window length and it is selected empirically with trial-and-error. For the ARIMA model, parameter values p, d and q are very important for the effectiveness of the algorithms. The optimum solution is achieved by using Akaike Information Criteria (AIC) introduced by (Bozdogan, 1987).

During this study, trial and error approach is used to set the window size of the neural network. For the robust search, the algorithms were tried from 20 days to the lag of 100 days by increasing 5 and 35 is found as the most effective window length.

For the learning rate of the neural network layers, the loss vs learning rate function is used to set up it. This function is drawn by using the Learning rate scheduler function of Keras library. The graphs of the loss vs learning rate and comments about it are detailed in each of the applied network algorithms. On the other hand, number of hidden layers, number of nodes, type of activation function must be set up cautiously for the reason that the performance of the networks varies hugely depending on the parameters. To keep the size of parameters in a minimum, the models were created containing the minimum number of layers and parameters were selected empirically with trial and error. Furthermore, parameters are determined by the existing studies. Since Relu function is used in several studies in the literature, it is used as an activation function for training especially recurrent neural networks throughout the study. In addition, other activation functions (sigmoid, tanh) were also used during the study, and the results were analyzed.

3.3. Performance Measures

For the forecasting performance measure, mean squared error (MSE), mean absolute error (MAE), mean absolute percentage error (MAPE) are used. MAE and MSE estimate the average of absolute Euclidean distance and squared Euclidean distance respectively between predicted and actual values. The formulas for these metrics are given in the Table 2.

Table 2. Metrics and Formulations

Metrics	Formulas
Mean Squared Error	$\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N e_t^2$
Mean Absolute Error	$\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N e_t $
Mean Absolute Percentage Error (MAPE)	$\frac{100\%}{N} \sum_{t=1}^N \left \frac{e_t}{y_t} \right $

3.4. Used Technology

Because several different algorithms were applied during this study, Python was used for creating all models. For the statistical analysis such as ARIMA, statsmodels library was used. Nolds, pyEntropy and pyrem packages were used for the entropy analysis. For the machine learning algorithms and evaluation metrics, keras deep learning library was used.

4. Results

During this study, Simple Moving Average and ARIMA statistical models and Artificial Neural Network, Convolutional Neural Network and Recurrent Neural Network machine learning algorithms are applied to predict the future price of the Bitcoin financial asset and compared to conclude which algorithm produces better results.

Bitcoin daily prices are considered as time series data and these techniques were applied in the concept of time series analysis. All approaches used in this study make forecasting future values based on the previous ones.

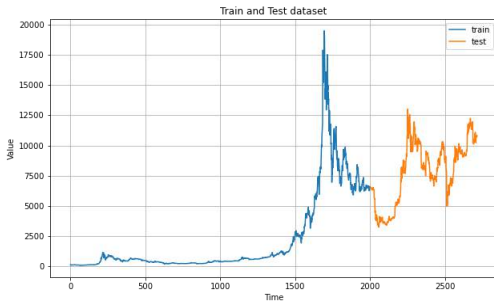
4.1. Data Preprocessing and Feature Extraction

The Bitcoin data set was collected by <https://www.coindesk.com>. It is investigated at one day frequency ranges from 10th of September 2013 to 2nd of October 2020 and contains closing prices. The reason is that the study of McNally et al. presents that the close price is one of the most important variables among open, high, low, and closing prices (McNally, Roche, & Caton, 2018). Besides, the study of Atsalakis et al. also uses the close prices of Bitcoin in their research (Atsalakis, Atsalaki, Pasiouras, & Zopounidis, 2019).

Feature selecting is one of the most important parts for the deep learning algorithms to reach better results in forecasting. The dataset has totally 2713 elements and divided into two subsets:

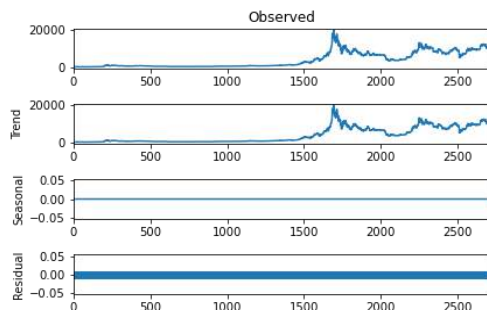
training and testing data. In the literature, there are different approaches for the division of samples into training and testing data such as 50:50, 70:30 and 80:20. In this study, first 2000 samples were used as training data and the remaining approximately %25 of samples were used for testing the model proposed. The training and testing data are illustrated in Figure 2. The data used for training the model was drawn in blue line and the data draw in orange line was used for testing the model.

Figure 2. Train and Test Dataset



Time series for Bitcoin data is decomposed into four main part; random, seasonal, trend and observed. The time series plot of the data is given in Figure 3. As shown in the Figure 3, there is no clear seasonality and residual in Bitcoin dataset but, there is a trend. It is demonstrated that prices are non-stationary time series with ADF testing statistics of -1.386372 in Figure 5. However, to apply ARIMA time series analysis, the dataset has been transformed to stationary data series.

Figure 3. Decomposition of additive Bitcoin dataset timeseries

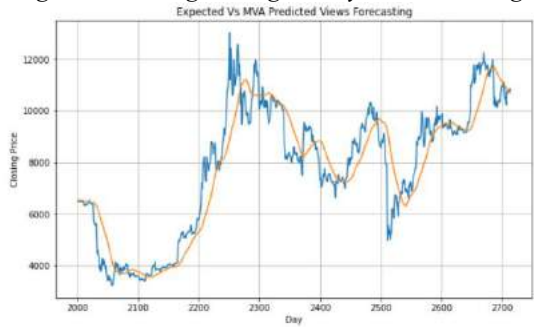


Dataset is a univariate time series containing the closing prices of Bitcoin as a sequence of observations. This sequence data must be transformed into input and output features to apply supervised learning techniques. It is done by correlating Bitcoin data into window size of 35 days. Thus, to forecast the daily Bitcoin value, previous 35 days are used as input for each network design.

4.2. Forecasting Results

Firstly, SMA is applied to forecast Bitcoin price. The predictive price is the average value of the previous n time series data. The n value is called as window size and it is taken as 30 in this study. In other words, the average value of 30 previous Bitcoin close prices gives us the Bitcoin price of 31st day. In this algorithm, each price is equally weighted. The graph of the results for the prediction of the test data set is given in Figure 4. In all figures showing the predictive analysis of the algorithms, the blue line shows the exact data and the orange line represents the predicted value.

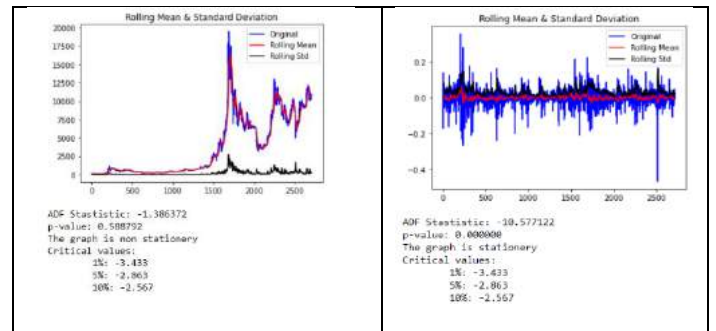
Figure 4. Moving Average Analysis Forecasting



SMA performs usually insufficiently in ranging markets that have no obvious trend in movement. Besides, SMA does not have the capability of prediction market movements (Ellis & Parbery, 2005) and it is the simplest method that just evaluates the averages. Due to these deficiencies, Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) statistical method, the most robust and prominent forecasting technique, was implemented to make an accurate prediction (Sato, 2013).

To apply the ARIMA method, the time series data must be stationary. An augmented Dickey–Fuller test (ADF) is done to test whether the graph is stationary or not. Since p-value (0.588792) > 0.5, the test confirms that the data set is non-stationary. Before implementation, differencing in which seasonality and trend are eliminated is applied to make data stationary. The original dataset and differenced dataset stationary results are given in Figure 5.

Figure 5. ADF Statistics Results

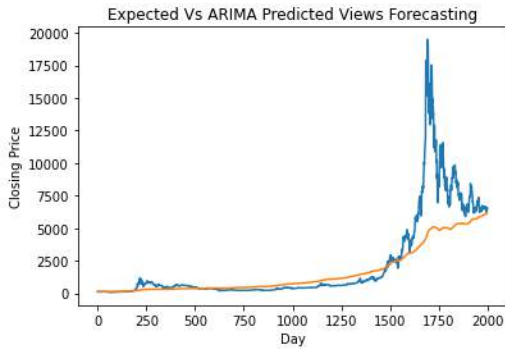


ARIMA model is applied to the differenced dataset and the following results have obtained. Model is created by using 25th order auto regressive model with 3rd moving average. The predicted values of ARIMA (25,1,3) model and expected values for testing data are detailed in Figure 6. In each prediction, the ARIMA model is compiled again and again with new added data makes this model cumbersome. Further, it has difficulty in forecasting turning points.

For one-layer, three-layers, and recurrent neural networks, as an optimizer, a stochastic gradient descent algorithm with 5e⁻¹⁰ learning rate is used. The learning rate is selected by using the learning rate scheduler function. The graphic of loss vs different learning rates showed that the learning rate of 5e⁻¹⁰ seems to yield better results. To increase the prediction performance and yield better results, 3-layers ANN are added to the design of the network. As an activation function, rectified linear unit, the most popular activation function, for neural network algorithms is used. Output array of the first layer has shape of (None, 30) and second layer has a shape of (None, 40) and third and the last layer has a shape of (None, 1) which is the forecasted value of Bitcoin price. Under 200 epochs, the results of the predicted and actual values of one-layer neural network and three-layers neural network are

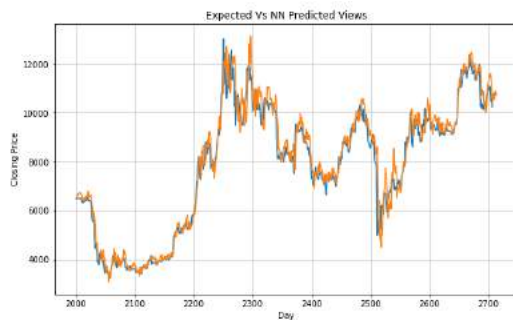
shown in Figure 7 and 8, respectively. These networks are feed forward networks that have not cycles, loops, or filters.

Figure 6. ARIMA Predicted and Expected Values



Besides, we apply CNN to predict Bitcoin price. The idea behind this network is filtering data by extracting the right and relevant features in the input data. 1 dimensional convolution layer with 88 filter and 2 kernel size is used. As in the previous networks, relu function is used for the activation function. After the convolution layer, feed forward network layer is added. The summary of CNN design is given in Figure 9.

Figure 7. ANN with one layer Predicted and Expected Values



One-layer Artificial Neural Network Model Summary

Layer (type)	Output Shape	Param #
dense_3 (Dense)	(None, 1)	36

Total params: 36		
Trainable params: 36		
Non-trainable params: 0		

Figure 8. ANN with 3 layers Predicted and Expected Values



Three-layer Neural Network Model Summary

Layer (type)	Output Shape	Param #
dense_1 (Dense)	(None, 30)	1080
dense_2 (Dense)	(None, 40)	1240
dense_3 (Dense)	(None, 1)	41

Total params: 2,361		
Trainable params: 2,361		
Non-trainable params: 0		

In the literature, there have been many variants of ANN depending on data flows. To improve the performance, we applied networks with cyclic data flows called Recurrent neural networks. These networks have memory and have two inputs: current data and past data. So, RNN evaluates the output based on the previous computations. In practice, they are limited to look back in a defined number of steps. The parameters used for RNN is given in Table 3. The algorithms run under 30 tests with 200 epochs. Considering the execution time even out of scope in this study, RNN algorithms execute in 430.35 seconds which is almost nine times the execution time of ANN algorithms which lasts 40.034 seconds. In summary, although this approach produces more accurate predictions than other neural networks, execution time of the algorithm is more than the others. The summary of RNN design is given in Figure 10. It represents that the predicted and expected values are highly close each other. Two simple RNN layer with 40 units are created. RNN layers have the full sequence as input.

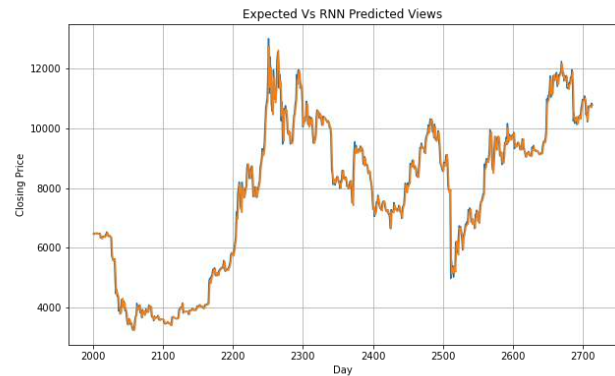
Table 3. Parameter Values for Neural Networks

Parameters/Artificial Neural Networks	1-Layer Artificial Neural Network	3-Layers Artificial Neural network	Recurrent neural network	Convolutional Neural Network
Batch Size	32	32	32	32
# of Inputs	35	35	35	35
# of Outputs	1	1	1	1
# of Hidden Layer/# of nodes of each layer	1(1)	3(40,40,1)	3(40,40,1)	3(88,200,1)
Activation Function	Rectified Linear Unit	Rectified Linear Unit	Rectified Linear Unit	Rectified Linear Unit
Loss Function	Mean Squared Error	Mean Squared Error	Mean Squared Error	Mean Squared Error
Optimization Function	Stochastic Gradient Descent	Stochastic Gradient Descent	Stochastic Gradient Descent	Adaptive Moment Estimation
Learning Rate	5e-10	5e-10	5e-10	0.01

Figure 9. CNN Predicted and Expected Values



Figure 10.1 RNN Predicted and Expected Values



Convolutional Neural Network

Layer (type)	Output Shape	Param #
lambda (Lambda)	(None, 35, 1)	0
conv1d (Conv1D)	(None, 34, 88)	264
max_pooling1d (MaxPooling1D)	(None, 34, 88)	0
flatten (Flatten)	(None, 2992)	0
dense (Dense)	(None, 200)	598600
dense_1 (Dense)	(None, 1)	201
lambda_1 (Lambda)	(None, 1)	0
Total params: 599,065		
Trainable params: 599,065		
Non-trainable params: 0		

Recurrent Neural Network Model Summary

Layer (type)	Output Shape	Param #
lambda (Lambda)	(None, 35, 1)	0
simple_rnn (SimpleRNN)	(None, 35, 40)	1680
simple_rnn_1 (SimpleRNN)	(None, 40)	3240
dense (Dense)	(None, 1)	41
Total params: 4,961		
Trainable params: 4,961		
Non-trainable params: 0		

4.3. Evaluations of Predictive Performance

In this section, a comparative discussion of the results for proposed networks are provided. While training and testing all neural networks, the same datasets are used as inputs. Table 4 summarizes the results of statistical and neural network

algorithms by using the MSE, MAE and MAPE metrics detailed mathematically in the previous sections. To get more information about the results, mean, standard deviation, maximum and minimum statistical indicators were evaluated under the average of 30 runs independently. The best results for each metric are stated as bold in Table 4.

Table 4. Descriptive Statistics for the Performance of Different Models

	Analysis	Mean	Standard Deviation	Minimum	Maximum
MSE	One Layer - ANN	184628.33	3096.51	174625.75	186763.47
	Three Layer - ANN	170703.52	10381.69	155929.40	191888.40
	CNN	174822.84	23627.49	149403.69	238071.50
	RNN	114554.01	14418.32	98488.79	152228.23
MAE	One Layer - ANN	313.29	4.99	298.34	316.72
	Three Layer - ANN	299.06	17.84	272.23	330.62
	CNN	284.04	29.61	247.36	359.55
	RNN	210.56	18.22	192.10	257.24
MAPE	One Layer - ANN	4.05	0.07	3.85	4.10
	Three Layer - ANN	3.84	0.22	3.52	4.22
	CNN	3.75	0.40	3.27	4.79
	RNN	2.70	0.25	2.46	3.34

Table 4 clearly demonstrate that recurrent neural network approach could yield better predictive performance. RNN achieve the lowest mean of three indicators: MSE, MAE and MAPE of

114554.01, 210.56 and 2.70, respectively. CNN is the second approach having high performance in predictive ability. From the

Table, one-layer network has obviously the worst one in predicting Bitcoin price accurately.

To further examine the robustness of the methods, Wilcoxon-Mann-Whitney (WMW) test is conducted to compare the differences between the performance of the prediction methods statistically significant. WMW is a nonparametric and pairwise comparison statistical test. In addition to this, it does not expect that the distribution of the sample should be normal which makes it safer. The aim is to detect significant differences between the behavior of two algorithms (Derrac, García, Molina, & Herrera, 2011).

We test the following statistical hypothesis for three different indicators. p-values of the WMW test are shown in Table 5 for three evaluation indicators: MSE, MAR and MAPE. It is common method to compare the machine learning algorithms in terms of performance. If the p-value is less than 0,05, 0,01 or 0,001, the null hypothesis H_0 is rejected.

H_0 : The difference in the performance of the algorithms is not statistically significant.

As stated in Table 5, p-statistic values between RNN and other algorithms except CNN are significant at level $p < 0.05$. Both accuracy metrics and WMW test show that RNN model is more accurate and robust at predicting Bitcoin prices than other algorithms except CNN in this study. However, the differences between RNN and CNN is not statistically significant for MSE and MAPE indicators. Since the p-value = **0.5205049139315545** >

0.05. However, p-value in MAE indicator between RNN and CNN represents that differences between algorithms are significant.

5. Discussion

Through this paper, we have shown that machine learning algorithms yield better results with low error rates than traditional statistical techniques. Two statistical and three machine learning algorithms with different natures were used. Moving average analysis which predicts the future value by taking the average of the previous n values, having the simplest computation, produced the highest error. On the other hand, for time series analysis, ARIMA, a popular technique used by several researchers yields better results than the simplest Neural network algorithm. However, making data stationary is a prerequisite condition to apply this technique.

On the other hand, during this research, neural network algorithms were applied on non-stationary time series of Bitcoin prices. Furthermore, even on non-stationary data, the recurrent neural network performed best among the neural network models and statistical models used during this study. Since RNN has a recurrent connection, it captured the sequence exist and temporal dependence in the input data which is the natural result of the type of time series data. For machine learning algorithms, since the amount of data affects the success of the forecasting, when Bitcoin prices are taken hourly rather than a day like in this study, the measured performance of the RNN could become more remarkable.

Table 5. Results of the t-test under three evaluation indicators

Indicators	Models	ARIM A	One-layer ANN	Three-layer ANN	CNN	RNN
MSE	ARIMA	-	8.671988141602892e-07	8.671988141602892e-07(***)	8.671988141602892e-07(***)	8.671988141602892e-07(***)
	One-layer ANN	-	-	3.4461451484174774e-05(***)	0.02723125198594554(*)	8.671988141602892e-07(***)
	Three-layer ANN	-	-	-	0.5205049139315545	0.5205049139315545
	CNN	-	-	-	-	0.5205049139315545
	RNN	-	-	-	-	-
MAE	ARIMA	-	8.671988141602892e-07(***)	8.671988141602892e-07(***)	8.671988141602892e-07(***)	8.671988141602892e-07(***)
	One-layer ANN	-	-	0.0011275619453935454	4.459363712229841e-05(***)	8.671988141602892e-07(***)
	Three-layers ANN	-	-	-	0.01091336079801136(*)	0.01091336079801136(*)
	CNN	-	-	-	-	0.01091336079801136(*)
	RNN	-	-	-	-	-
MAPE	ARIMA	-	8.671988141602892e-07(***)	8.671988141602892e-07(***)	8.671988141602892e-07(***)	8.671988141602892e-07(***)
	One-layer ANN	-	-	0.00033196064213223927(***)	0.0012922796032760046(***)	8.671988141602892e-07(***)
	Three-layers ANN	-	-	-	0.099305104972773	0.099305104972773
	CNN	-	-	-	-	0.099305104972773
	RNN	-	-	-	-	-

$p < 0.05$ (*), $p < 0.01$ (**) and $p < 0.001$ (***)

Besides, even several analysis is achieved while setting parameters, still these do not guarantee to select the best ones. So, with applying more promising approaches for parameter selection from the literature, it is expected that nonlinear neural networks achieve better results than ARIMA and other statistical methods that push the data linearization.

6. Conclusions and Future Works

To sum up, during this study, different statistical techniques, and different neural networks in terms of mathematical background were implemented to predict the future value of the Bitcoin price. To measure the performance of the statistical

techniques and networks, three performance indicators; MSE, MAE and MAPE were evaluated and for the robustness of the methods, Wilcoxon-Mann-Whitney test was applied. Performance indicators of MAE, MSE and MAPE showed that RNN yields better results than all other algorithms. However, WMW test claimed that the accuracy difference between RNN and CNN is not statistically significant. We can conclude that the performance of RNN is better than ARIMA and ANN and statistically significant. In addition to this, among the neural networks, more sophisticated networks gave better results as expected. However, designing these networks and selecting appropriate parameters require a great deal of effort. Even though in this study, we use the trial and error for window size parameter selection and the graphic of loss vs learning rate for the selection of learning rate, there are still many diverse parameters and the different number of layers that must be adjusted. Designing the model as sequential or functional, selecting suitable loss and optimizer function for the model and/or activation function for the layer, deciding the size of output nodes and layers are all parameters that must be managed carefully in the feature work. Along these lines, for the parameter's selection, heuristic search methods could be implemented. Otherwise, the trial and error approach has a limited capability, time-consuming and does not guarantee desirable parameters to predict satisfactory results. On the other hand, adding daily opening, mean prices of Bitcoin, market cap, volatility, or volume as other features that make the problem data multivariate time series might produce better prediction results. In addition to these macro-economic factors, adding technological properties with social parameters like twitter numbers might improve the predictive capability of the models.

References

- Adcock, R., & Gradojevic, N. (2019). Non-fundamental, non-parametric Bitcoin forecasting. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*.
- Alahmari, S. A. (2019). Using Machine Learning ARIMA to Predict the Price of Cryptocurrencies. *ISECure-The ISC International Journal of Information Security*, 139-144.
- Albariqi, R., & Winarko, E. (2020). Prediction of Bitcoin Price Change using Neural Networks. *International Conference on Smart Technology and Applications (ICoSTA)* (s. 1-4). IEEE.
- Atsalakis, G. S., Atsalaki, I. G., Pasiouras, F., & Zopounidis, C. (2019). Bitcoin price forecasting with neuro-fuzzy techniques. *European Journal of Operational Research*, 770-780.
- Ayaz, Z., Fiaidhi, J., Sabah, A., & Ansari, M. A. (2020). Bitcoin Price Prediction using ARIMA Model.
- Azari, A. (2019). Bitcoin price prediction: An ARIMA approach. *arXiv preprint arXiv:1904.05315*.
- Bakar, N. A., & Rosbi, S. (2017). Autoregressive integrated moving average (ARIMA) model for forecasting cryptocurrency exchange rate in high volatility environment: A new insight of bitcoin transaction. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*.
- Bozdogan, H. (1987). Model selection and Akaike's information criterion (AIC): The general theory and its analytical extensions. *Psychometrika*, 345-370.
- Chen, W., Xu, H., Jia, L., & Gao, Y. (2020). Machine learning model for Bitcoin exchange rate prediction using economic and technology determinants. *International Journal of Forecasting*, 28-43.
- Deokar, R. S., Dandage, S. M., & Jawandhiya, P. M. (2020). Design & Implementation of CryptoCurrency Prediction Using Machine Learning Approach. *International Journal of Advent Research in Computer and Electronics (IJARCE)*, 8-12.
- Derrac, J., García, S., Molina, D., & Herrera, F. (2011). A practical tutorial on the use of nonparametric statistical tests as a methodology for comparing evolutionary and swarm intelligence algorithms. *Swarm and Evolutionary Computation*, 3-18.
- Dokuz, A. Ş., Çelik, M., & Ecemiş, A. (2020). Anomaly Detection in Bitcoin Prices using DBSCAN Algorithm. *European Journal of Science and Technology*, 436-443.
- Ellis, C. A., & Parbery, S. A. (2005). Is smarter better? A comparison of adaptive, and simple moving average trading strategies. *Research in International Business and Finance*, 399-411.
- Greaves, A., & Au, B. (2015). Using the Bitcoin Transaction graph to predict the price of Bitcoin. http://snap.stanford.edu/class/cs224w-2015/projects_2015/adresinden_alindi
- Güteryüz, D., & Özden, E. (2020). The Prediction of Brent Crude Oil Trend Using LSTM and Facebook Prophet. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 1-9.
- Higbee, A. (2018). The role of crypto-currency in cybercrime. *Computer Fraud & Security*, 13-15.
- Jalles, J. T. (2009). *Structural Time Series Models and the Kalman Filter: A Concise Review*.
- Khaldi, R., Afia, A. E., Chiheb, R., & Faizi, R. (2018). Forecasting of Bitcoin daily returns with EEMD-ELMAN based model. *International Conference on Learning and Optimization Algorithms: Theory and Applications*, (s. 1-6).
- Lahmiri, S., & Bekiros, S. (2020). Intelligent forecasting with machine learning trading systems in chaotic intraday Bitcoin market. *Chaos, Solitons & Fractals*.
- Li, Y., & Dai, W. (2020). Bitcoin price forecasting method based on CNN-LSTM hybrid neural network model. *The Journal of Engineering*, 344-347.
- Liu, M., Li, G., Li, J., Zhu, X., & Yao, Y. h. (2020). Forecasting the price of Bitcoin using deep learning. *Finance Research Letters*.
- Madan, I., Saluja, S., & Zhao, A. (2015). Automated bitcoin trading via machine learning algorithms. http://cs229.stanford.edu/proj2014/Isaac%20Madan_adresinden_alindi
- McNally, S., Roche, J., & Caton, S. (2018). Predicting the price of bitcoin using machine learning. *26th Euromicro International Conference on Parallel, Distributed and Network-based Processing* (s. 339-343). IEEE.
- Meyler, A., Kenny, G., & Quinn, T. (1998). Forecasting irish inflation using ARIMA models. *Central Bank and Financial Services Authority of Ireland Technical Paper Series*.
- Mudassir, M., Bennbaia, S., Unal, D., & Hammoudeh, M. (2020). Time-series forecasting of Bitcoin prices using high-dimensional features: a machine learning approach. *Neural Computing and Applications*, 1-15.
- Munim, Z. H., Shakil, M. H., & Alon, I. (2019). Next-day bitcoin price forecast. *Journal of Risk and Financial Management*.
- Nakamoto, S. (2008). Bitcoin whitepaper. <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>-(Дата обращения: 17.07. 2019).: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>-(Дата обращения: 17.07. 2019). *adresinden_alindi*

- Nakano, M., Takahashi, A., & Takahashi, S. (2018). Bitcoin technical trading with artificial neural network. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 587-609.
- Özhan, E. (2020). Estimation Of CO2 Equivalent Greenhouse Gas Emissions In Turkey By Artificial Neural Networks And Exponential Smoothing Method. *European Journal of Science and Technology*, 282-289.
- Pabuçcu, H., Ongan, S., & Ongan, A. (2020). Forecasting the movements of Bitcoin prices: an application of machine learning algorithms. *Quantitative Finance and Economics* , 679-691.
- Phaladisailoed, T., & Numnonda, T. (2018). Machine learning models comparison for bitcoin price prediction. 10th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE) (s. 506-511). IEEE.
- Refenes, A. N., Zapranis, A., & Francis, G. (1994). Stock performance modeling using neural networks: a comparative study with regression models. *Neural networks*, 375-388.
- Sato, R. C. (2013). Disease Management with ARIMA model in Time Series. *Einstein*.
- Tsai, Y. T., Zeng, Y. R., & Chang, Y. S. (2018). Air pollution forecasting using RNN with LSTM. 16th Intl Conf on Dependable, Autonomic and Secure Computing, 16th Intl Conf on Pervasive Intelligence and Computing, 4th Intl Conf on Big Data Intelligence and Computing and Cyber Science and Technology Congress (s. 1074-1079). IEEE.
- Ulumuddin, I., Sunardi, & Fadlil, A. (2020). Bitcoin Price Prediction Using Long Short Term Memory (LSTM). *JurnalMatik*, 1090-1095.
- Valencia, F., Gómez-Espinosa, A., & Valdés-Aguirre, B. (2019). Price movement prediction of cryptocurrencies using sentiment analysis and machine learning. *Entropy*.
- Wadi, S. A. (2018). Predicting closed price time series data using ARIMA Model. *Modern Applied Science*.
- Yao, J., & Tan, C. L. (2000). A case study on using neural networks to perform technical forecasting of forex. *Neurocomputing*, 79-98.
- Yenidoğan, I., Çayır, A., Kozan, O., Dağ, T., & Arslan, Ç. (2018). Bitcoin forecasting using ARIMA and prophet. 3rd International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK) (s. 621-624). IEEE.
- Zhang, Y. Q., & Wan, X. (2007). Statistical fuzzy interval neural networks for currency exchange rate time series prediction. *Applied Soft Computing*, 1149-1156.



Synthesis, Antimicrobial and Cytotoxic Activity Studies of Some New Benzoxazole Derivatives

Meryem Erol^{1*}, İsmail Çelik², Gülcan Kuyucuklu³, Ebru Uzunhisarcıklı⁴

¹ Erciyes University, Faculty of Pharmacy, Department of Pharmaceutical Chemistry, Kayseri, Turkey (ORCID: 0000-0001-5676-098X), eczacimeryem@gmail.com

² Erciyes University, Faculty of Pharmacy, Department of Pharmaceutical Chemistry, Kayseri, Turkey (ORCID: 0000-0002-8146-1663), ismailcelik@erciyes.edu.tr

³ Trakya University, Faculty of Medicine, Department of Medical Microbiology, Edirne, Turkey (ORCID: 0000-0003-1596-1659), gulcankuyucuklu@gmail.com

⁴ Erciyes University, Faculty of Pharmacy, Department of Pharmacology, Kayseri, Turkey (ORCID: 0000-0002-7088-7490), eczebruozturk@gmail.com

(First received 6 November 2020 and in final form 26 January 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.822417)

ATIF/REFERENCE: Erol, M., Çelik, İ., Kuyucuklu, G. & Uzunhisarcıklı, E. (2021). Synthesis, Antimicrobial and Cytotoxic Activity Studies of Some New Benzoxazole Derivatives. *European Journal of Science and Technology*, (21), 455-462.

Abstract

There is an urgent need to develop new antimicrobial drugs due to the rapid development of resistance to increasing microbial infectious diseases and drugs used in their treatment. Also, the compounds synthesized for use in cancer treatment limit their use due to their cytotoxic effect on normal cells and cancerous cells, and their side effects are high. For this reason, researches continue to intensify the drugs developed for cancer treatment to be selectively effective on cancer cells and to reduce their side effects as much as possible. Within this study's scope, 7 compounds of 2-(*p*-substituted phenyl)-5-(2-substitutedacetamido) were synthesized in 3 steps, and their structures were illuminated by HRMS, ¹H-NMR, and ¹³C-NMR spectroscopy methods. Their antimicrobial activities were evaluated on 10 different microorganisms. In addition, cytotoxic activities were investigated on MCF-7 and A549 cell lines by the MTT method. As a result of the study, it was determined that the synthesized compounds were both antibacterial and antifungal at MIC values ranging from 64-256 µg/mL, and compound **9** had significant cytotoxic activity on both A549 and MCF-7. The results obtained will make an important contribution to the studies conducted to develop new or alternative antimicrobial and cytotoxic agents.

Keywords: Benzoxazole, Synthesis, Antimicrobial activity, Cytotoxicity, ADME prediction.

Bazı Yeni Benzoksazol Türevlerinin Sentezi, Antimikrobiyal ve Sitotoksik Aktivite Çalışmaları

Öz

Artan mikrobiyal enfeksiyon hastalıklara ve bunların tedavisinde kullanılan ilaçlara karşı hızla direnç gelişmesi nedeniyle yeni antimikrobiyal ilaçların geliştirilmesine acil ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca kanser tedavisinde kullanılmak amacıyla sentezlenen bileşiklerin kanserli hücrelerde olduğu kadar normal hücrelerde de sitotoksik etki göstermesi ve yan etkilerinin fazla olması nedeniyle kullanımını sınırlı hale getirmektedir. Bu nedenle kanser tedavisi için geliştirilen ilaçların seçici olarak kanserli hücreler üzerinde etkili olması ve yan etkilerinin mümkün olduğunca azaltılması yönünde araştırmalar yoğun olarak devam etmektedir. Bu çalışma kapsamında 7 tane 2-(*p*-substitutedphenyl)-5-(2-substitutedacetamido) bileşiğinin 3 basamakta sentezi gerçekleştirildi, yapıları HRMS, ¹H-NMR ve ¹³C-NMR spektropisi yöntemleri ile aydınlatıldı. Antimikrobiyal aktiviteleri 10 farklı mikroorganizma üzerinde değerlendirildi. Ayrıca MCF-7 ve A549 hücre hatları üzerinde MTT metodu ile sitotoksik aktiviteleri araştırıldı. Çalışma sonucunda sentezlenen bileşiklerin 64-256 µg/mL arasında değişen MİK değerlerinde hem antibakteriyel hem de antifungal etkili oldukları belirlenmiş ve bileşik **9**'nin hem A549 hem de MCF-7 üzerinde önemli sitotoksik aktivitesi bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar yeni veya alternatif ilaç antimikrobiyal ve sitotoksik ajan geliştirmek için yapılan çalışmalara önemli bir katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Benzoksazol, Sentez, Antimikrobiyal aktivite, Sitotoksikite, ADME tahmini.

* Corresponding Author: eczacimeryem@gmail.com

1. Introduction

One of the most important goals of researchers working in the field of pharmaceuticals and medicinal chemistry is to be able to design new effective chemical compounds, which may be drug substance. Antibiotics are among the most widely used drugs in the world in the first place. 35% of the health budgets of developing countries are spent on antibiotics. Unfortunately, as a result of unnecessary and inappropriate use of these commonly used and costly drugs, treatment failure, mortality, cost, resistance, the current use of antibiotics, and the need for new antimicrobials are emerging (Arandjelovic et al., 2019). However, the development of a new antibiotic has taken many years, and the costs of these studies are quite high. For this reason, the possibilities for the development of new antibiotics are gradually diminishing. Resistance to various classes of antibiotics, such as methicillin, vancomycin, rifamycin, and the like, which are effective against bacterial strains such as methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA), multiresistant (MDR) *Mycobacterium tuberculosis* have been reported (Alanis, 2005; Yilmaz et al., 2017). This leads researchers to work on designing and synthesizing new antimicrobial drugs with more effective and fewer side effects. Studies have shown that structures bearing heterocyclic nuclei have a very strong microbiological effect.

Since the benzoxazole ring system is the structural analog of the heterocyclic adenine and guanine bases in the nucleic acids structure, it is believed that the derivatives carrying this ring system can demonstrate their microbiological activity by inhibiting nucleic acid synthesis (Oehlers et al., 2004). For this reason, the workings of these derivatives have been increasing in recent years.

Cancer is a group of diseases consisting of uncontrolled cells' proliferation in different organs, with additional clinical appearance, treatment, and approach (Suzuki et al., 2013; Yeliz et al., 2019). According to the World Health Organization data in 2018, the cause of death of approximately one in six people in the world is cancer. Today, the total number of deaths due to AIDS, malaria, and tuberculosis is far less than people who die from cancer. For this purpose, many new compounds have been synthesized, and successful results have been obtained in cancer cells; however, the cytotoxic effect of the compounds synthesized for use in cancer treatment on normal cells as well as on cancer cells and their excessive side effects limit their use (Fernández et al., 2010). For this reason, researches continue to intensify the drugs developed for cancer treatment to be selectively effective on cancer cells and to reduce their side effects as much as possible.

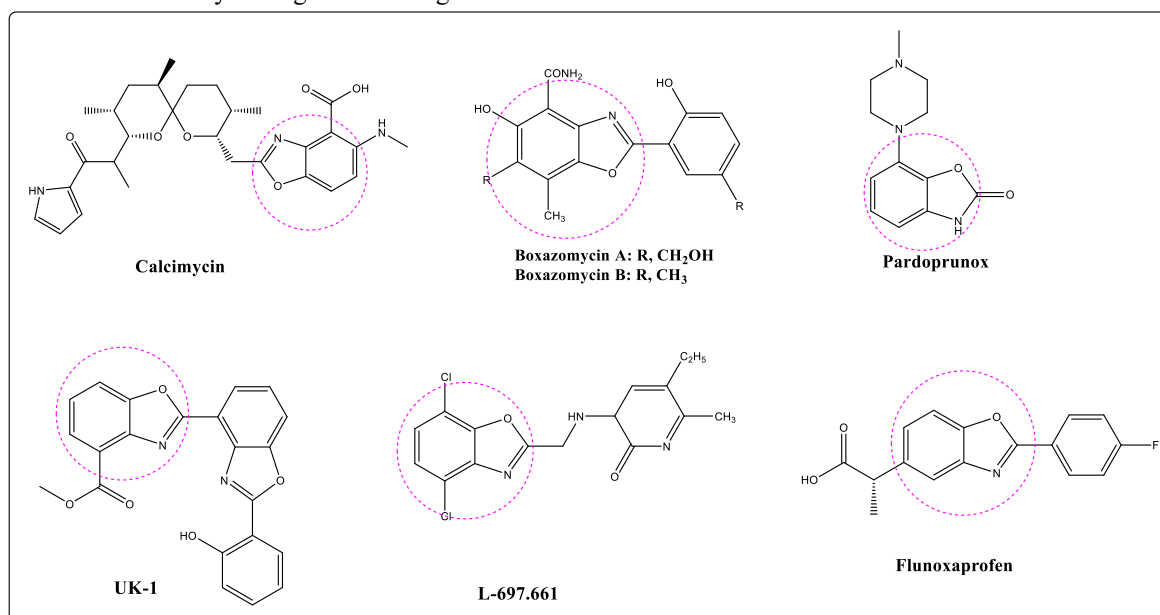


Figure 1. Benzoxazole derivatives with various biological activities

Benzoxazole ring is one of the important heterocyclic ring systems in drug design due to its structural similarity to adenine and guanine bases. It is thought to show its chemotherapeutic activities by inhibiting nucleic acid synthesis. This approach further increases the interest in benzoxazole derivatives (Oehlers et al., 2004). The investigations reveal that benzoxazole and its analogs are compounds that give meaningful results in terms of microbiological (Taşçı et al., 2018) and cytotoxic activity (Zilifdar et al., 2018). Benzoxazole ring system also has a broad spectrum of pharmacological effects such as anti-inflammatory (Sondhi et al., 2006), antiepileptic (Wei et al., 2009), antialzheimer (Celik et al., 2020; Temiz-Arpacı et al., 2016), anti-HIV (Sakamoto et al., 2007), topoisomerase inhibitors (Oksuzoglu et al., 2008), kinase inhibitors (Han et al., 2012), protease inhibitors (Jonckers et al., 2012). Calcimycin and

boxazomyacin A-B (antimicrobial), flunoxaprofen (non-steroidal anti-inflammatory), pardoprunox (antiparkinsonian), UK-1 and L-697.661 (anticancer) are examples of some drugs carrying benzoxazole ring system (Figure 1).

Researches on the benzoxazole ring system focus on derivatives of the ring-substituted from the 2nd and 5th positions. In previous studies, some derivatives containing *p*-(substituted)/phenyl at position 2 and 6-membered rings attached to the amide side chain at position 5 were synthesized, and promising results were obtained by examining their antimicrobial and cytotoxic activities (Temiz-Arpacı et al., 2005; Arisoy et al., 2008; Temeltas et al., 2020). Among the derivatives, compounds as effective as gentamicin against MRSA were observed; in addition, it was determined that the presence of piperazine group in the structure positively affected the activity by the quantitative

structure-effect relationships study conducted against MRSA. Based on these data, in this study, the synthesis of some compounds with the general structure of 2-(*p*-substitutedphenyl)-5-(2-substitutedacetamido)benzoxazole was carried out in three steps. The structure of the compounds was elucidated by HRMS, ¹H-NMR, and ¹³C-NMR spectroscopy methods, and also melting points were determined. Antimicrobial effects of *S. aureus*, *E. faecalis*, *E. coli*, *P. aeruginosa*, *C. albicans* microorganisms and their drug-resistant strains in the form of minimum inhibitory concentration (MIC) were investigated. Also, cytotoxic activities were determined on A549 and MCF-7 cell lines. The estimated ADME profiles of all compounds were calculated.

2. Material and Method

Chemicals and solvents were purchased from Sigma Aldrich, Merck, Riedel de Haen, and Fluka and used without further purification. For the TLC, 60 F254 coated aluminum plates (Merck) were used, and the UV light at 254 and 366 nm wavelength was used to detect stains. The TLC mobile phase composition used in each step is indicated in the relevant method. Silica gel 60 (Merck) with a particle size of 230-400 mesh was used in column chromatography. The used column diameter is 2.4 cm, and the amount of silica gel is 30 g. Soluble compounds in the small mobile phase (3-5 mL) were applied by dissolving in the column's mobile phase. The resulting compounds, which were insoluble in the mobile phase, were used solidly by adsorption of silica gel. Melting points were determined by Electrothermal 9100 (Varian, Palo Alto, CA) instrument, and the results are given without correction. NMR spectra were analyzed on a Varian Mercury 400 MHz High-Performance Digital FT-NMR spectrometer (Palo Alto, CA, USA) dimethylsulfoxide-*d*₆ (DMSO-*d*₆) was used as a solvent. The mass spectra (high-resolution mass spectrometry [HRMS]) of all of the synthesized compounds showed molecular ion [M+H]⁺ peaks were determined by the Shimadzu LC/MS ITTOF system.

2.1. General Procedure for Synthesis of 2-(*p*-substitutedphenyl)benzoxazole (1, 2)

20 mmol of 2,4-diaminophenol dihydrochloride and 20 mmol of *p*-substituted benzoic acid was stirred at 160-190°C for 3-4 h at 25 g of polyphosphoric acid (PPA) catalyst. At the end of the reaction, the reaction contents were poured over ice, and the solution was neutralized with 10% NaOH. The resulting precipitate was filtered, then crystallized with ethanol-water. During the synthesis studies, ethyl acetate: *n*-hexane (1:1) TLC mobile phase was used to monitor the reaction end and to check the purity of the compound (Alper-Hayta et al., 2008; Arisoy et al., 2012; Arisoy et al., 2013; Arisoy et al., 2008).

2.2. General Procedure for Synthesis 5-(2-chloroacetamido)-2-(*p*-substitutedphenyl)benzoxazole (3, 4)

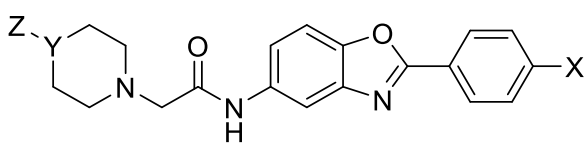
6 mmol of 2-(*p*-substitutedphenyl)-5-aminobenzoxazole were dissolved in 120 ml of diethyl ether and 12 mmol of NaHCO₃ in 60 ml distilled water. 6 mmol of 2-chloroacetyl chloride is slowly added while the ether and water phase were stirred in the ice bath in the magnetic stirrer. Stirring is continued overnight. At the end of the reaction, the reaction medium was filtered, and crystallized from ethanol-water. During the synthesis studies, ethyl acetate: *n*-hexane (1:1) TLC mobile phase was used to monitor the reaction end and to check the purity of the

compound (Alper-Hayta et al., 2008; Arisoy et al., 2012; Arisoy et al., 2013; Arisoy et al., 2008).

2.3. General Procedure for 2-(*p*-substitutedphenyl)-5-(2-substitutedacetamido)benzoxazole (5-11)

1 mmol 2-(*p*-substituted phenyl)-5-(2-chloroacetamido)benzoxazole derivative compounds were reacted with 5 mmol piperazine/piperidine derivatives at room temperature for 24 h in the presence of 1 ml TEA and 5 ml DMF. At the end of the reaction time, the mixture was poured over ice, the same volume of 10% NaOH solution is added. Extraction was carried out 2 times with chloroform. The chloroformed phases were collected, and the solvent was evaporated, and the residue was purified by column chromatography. The list of synthesized compounds was given in Table 1. During the synthesis studies, the TLC/column mobile phase of ethyl acetate: *n*-hexane (1:3) was used to monitor the end of the reaction, purify the resulting compound and purify the resulting compound by column chromatography (Alper-Hayta et al., 2008; Arisoy et al., 2012; Arisoy et al., 2013; Arisoy et al., 2008). Compounds **11** are not original. The ¹H-NMR, ¹³C-NMR spectra, and HRMS results agree with those of the proposed structures.

Table 1. List of synthesized compounds



Compound	X	Y	Z
5	-C ₂ H ₅	C	Ph
6	-C ₂ H ₅	C	Br
7	-Cl	N	(<i>p</i> -NO ₂)-Ph
8	-Cl	N	Ph-C=O
9	-Cl	N	-C ₂ H ₅
10	-Cl	N	(<i>p</i> -F)-Ph
11	-Cl	N	(<i>p</i> -Cl)-Ph

2-(*p*-ethylphenyl)-5-(2-(4-phenylpiperidine-1-yl)acetamido)benzoxazole (5)

Yield 50%, Mp: 164-166°C. ¹H-NMR δ ppm (400 MHz, DMSO-*d*₆): 9.92 (s, 1H, -NH), 8.19 (d, J = 2.1 Hz, 1H, Ar-H), 8.10 (d, J = 8.2 Hz, 2H, Ar-H), 7.72 (d, J = 8.8 Hz, 1H, Ar-H), 7.63 (dd, J = 8.8, 2.1 Hz, 1H, Ar-H), 7.53 (s, 1H, Ar-H), 7.45 (d, J = 8.1 Hz, 2H, Ar-H), 7.29 (d, J = 6.6 Hz, 3H, Ar-H), 7.19 (td, J = 6.1, 2.7 Hz, 1H, Ar-H), 3.19 (s, 2H, -CH₂), 3.00 (d, J = 11.1 Hz, 2H, -CH₂), 2.71 (q, J = 7.6 Hz, 2H, -CH₂), 2.29 (td, J = 11.5, 2.7 Hz, 2H, -CH₂), 1.90 – 1.77 (m, 2H, -CH₂), 1.76 (s, 2H, -CH₂), 1.74 (d, J = 10.1 Hz, 1H, -CH₂), 1.22 (t, J = 7.6 Hz, 3H, -CH₃). ¹³C-NMR δ ppm (100 MHz, DMSO-*d*₆): 169.08, 163.56, 148.69, 146.84, 146.71, 142.16, 136.28, 129.20, 128.79, 127.78, 127.22, 126.48, 124.39, 118.24, 110.99, 110.72, 62.68, 54.36, 41.84, 33.39, 28.63, 15.65. HRMS (m/z): [M+H]⁺ calcd for C₂₈H₂₉N₃O₂: 440.22598; found: 440.23534.

2-(*p*-ethylphenyl)-5-(2-(4-bromopiperidine-1-yl)acetamido)benzoxazole (6)

Yield 55%, Mp: 197-199°C. ¹H-NMR δ ppm (400 MHz, DMSO-*d*₆): 9.89 (s, 1H, -NH), 8.16 (d, J = 2.0 Hz, 1H, Ar-H), 8.11 – 8.08 (m, 2H, Ar-H), 7.70 (d, J = 8.8 Hz, 1H, Ar-H), 7.60 (dd, J

= 8.9, 2.1 Hz, 1H, Ar-H), 7.46 – 7.43 (m, 2H, Ar-H), 4.42 (s, 1H, -CH), 3.16 (s, 2H, -CH₂), 2.72 (dq, J = 15.2, 7.6, 6.8 Hz, 4H, -CH₂), 2.43 (d, J = 10.7 Hz, 2H, -CH₂), 2.16 (q, J = 3.4 Hz, 2H, -CH₂), 2.02 (dt, J = 8.4, 3.9 Hz, 2H, -CH₂), 1.22 (t, J = 7.6 Hz, 3H, -CH₃). ¹³C-NMR δ ppm (100 MHz, DMSO-d₆): 168.84, 163.55, 148.68, 146.85, 142.13, 136.23, 129.19, 127.78, 124.38, 118.30, 110.95, 110.81, 62.00, 52.25, 51.84, 36.29, 28.63, 15.64. HRMS (m/z): [M+H]⁺ calcd for C₂₂H₂₄BrN₃O₂: 442.10519; found: 442.11380.

2-(p-chlorophenyl)-5-(2-(4-(p-nitrophenyl)piperazine-1-yl)acetamido)benzoxazole (7)

Yield 70%, Mp: 208-210°C. ¹H-NMR δ ppm (400 MHz, DMSO-d₆): 10.01 (s, 1H, -NH), 8.22 – 8.17 (m, 3H, Ar-H), 8.06 (d, J = 9.2 Hz, 2H, Ar-H), 7.68 (td, J = 21.9, 20.9, 8.8 Hz, 4H, Ar-H), 7.05 (d, J = 9.3 Hz, 2H, Ar-H), 3.56 (d, J = 5.0 Hz, 4H, (2)-CH₂), 3.25 (s, 2H), 2.69 (d, J = 5.1 Hz, 4H, (2)-CH₂). ¹³C-NMR δ ppm (100 MHz, DMSO-d₆): 168.66, 162.48, 155.19, 146.96, 142.01, 137.30, 137.17, 136.5, 129.98, 129.46, 126.21, 125.73, 118.71, 113.12, 111.21, 110.88, 61.83, 52.67, 46.73. HRMS (m/z): [M+H]⁺ calcd for C₂₅H₂₂ClN₅O₄: 492.13603; found: 492.14437.

2-(p-chlorophenyl)-5-(2-(4-benzoylpiperazine-1-yl)acetamido)benzoxazole (8)

Yield 45%, Mp: 198-200°C. ¹H-NMR δ ppm (400 MHz, DMSO-d₆): δ 9.94 (s, 1H, -NH), 8.19 (s, 3H, Ar-H), 7.67 (dd, J = 21.5, 13.4 Hz, 5H, Ar-H), 7.45 – 7.39 (m, 4H, Ar-H), 3.69 (s, 3H, -CH₃), 3.23 (s, 2H, -CH₂), 2.64 – 2.56 (m, 5H, (2)-CH₂ and -CH). ¹³C-NMR δ ppm (100 MHz, DMSO-d₆): 169.42, 168.64, 162.46, 146.94, 141.99, 137.15, 136.43, 136.36, 129.96, 129.84, 129.44, 129.08, 128.90, 127.36, 125.72, 118.70, 111.18, 111.05, 110.88, 61.83, 51.48, 47.81. HRMS (m/z): [M+H]⁺ calcd for C₂₆H₂₃ClN₄O₃: 475.14587; found: 475.15574.

2-(p-chlorophenyl)-5-(2-(4-ethylpiperazine-1-yl)acetamido)benzoxazole (9)

Yield 40%, Mp: 162-164°C. ¹H-NMR δ ppm (400 MHz, DMSO-d₆): 9.90 (s, 1H, -NH), 8.24 – 8.09 (m, 3H, Ar-H), 7.73 (d, J = 8.8 Hz, 1H, Ar-H), 7.67 (dd, J = 8.7, 6.7 Hz, 2H, Ar-H), 7.66 – 7.56 (m, 1H, Ar-H), 3.34 (s, 2H, -CH₂), 2.53 (s, 4H, (2)-CH₂), 2.44 (s, 4H, (2)-CH₂), 2.32 (q, J = 7.2 Hz, 2H, -CH₂), 0.99 (t, J = 7.1 Hz, 3H, -CH₃). ¹³C-NMR δ ppm (100 MHz, DMSO-d₆): ¹³C-NMR δ ppm (DMSO-d₆): 168.81, 165.92, 163.44, 162.58, 146.93, 142.05, 136.37, 130.39, 130.30, 123.55, 123.52, 118.37, 117.13, 116.91, 111.11, 110.73, 62.37, 53.35, 52.66, 52.06, 12.51. HRMS (m/z): [M+H]⁺ calcd for C₂₁H₂₃ClN₄O₂: 399.15095; found: 399.15948.

2-(p-chlorophenyl)-5-(2-(4-(p-fluorophenyl)piperazine-1-yl)acetamido)benzoxazole (10)

Yield 55%, Mp: 190-192°C. ¹H-NMR δ ppm (400 MHz, DMSO-d₆): 9.95 (s, 1H, -NH), 8.17 (s, 1H, Ar-H), 7.65 (dd, J = 19.3, 8.8 Hz, 4H, Ar-H), 7.04 (t, J = 8.5 Hz, 3H, Ar-H), 6.95 (d, J = 9.4 Hz, 3H, Ar-H), 3.32 (s, 2H, -CH₂), 2.70 (d, J = 5.3 Hz, 8H, (4)-CH₂). ¹³C-NMR δ ppm (100 MHz, DMSO-d₆): ¹³C-NMR δ ppm (DMSO-d₆): 168.74, 162.46, 157.61, 155.27, 148.40, 146.94, 142.01, 137.15, 136.47, 129.96, 129.44, 125.72, 118.65, 117.63, 117.55, 115.82, 115.60, 111.19, 110.82, 62.16, 53.18, 49.31, 40.59, 40.38, 40.17, 39.96, 39.75, 39.54, 39.33. HRMS (m/z): [M+H]⁺ calcd for C₂₅H₂₂ClFN₄O₂: 465.14153.15095; found: 465.14125.

2.4. Antibacterial and Antifungal Activity

Standard strains of *Escherichia coli* ATCC 25922, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Enterococcus faecalis* ATCC 29212, *Candida albicans* ATCC 10231, and clinical isolates of the bacteria obtained from Trakya University Faculty of Medicine Microbiology Laboratory were included in the study. Vancomycin, ampicillin, gentamicin, ciprofloxacin, cefotaxime, amphotericin B, and fluconazole were used as standard drugs and dissolved in the solvents recommended by CLSI guidelines. Stock solutions of the tested compounds were dissolved in DMSO (Merck). Mueller Hinton Agar (MHA), Mueller Hinton Broth (MHB), Sabouraud Dextrose Agar (SDA), Sabouraud Liquid Medium (SLM), and RPMI-1640 medium with L-glutamine buffered with MOPS (pH:7) were used in the study. MHA, MHB, SDA, and SLM were sterilized with an autoclave at 121°C for 15-20 minutes, and RPMI-1640 was sterilized by filtration. Susceptibility testing was performed according to the guidelines of the Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI) M100-S25 and M27-A3 (CLSI, 2018; Edition, 2007). 100 µL of MHB and RPMI-1640 medium with L-glutamine (Sigma) buffered with MOPS (pH:7) were added to each well of the microplates for bacteria and fungi, respectively. The inoculation's bacterial suspensions were prepared at 10⁵ CFU/mL by diluting fresh cultures at McFarland 0.5 density. Suspensions of the yeast at McFarland density were diluted 1:100 and 1:20, respectively and 2.5x10³ CFU/mL were inoculated to the twofold-diluted solution of the compounds. Stock solutions of the tested compounds and standard drugs were diluted two-fold in the wells of the microplates, so the solution of the synthesized compounds and standard drugs were prepared at 512, 256, 128, 64, 32, 16, 8, 4 µg/mL and standard drugs were prepared at 16, 8, 4, 2, 1, 0.5, 0.25, 0.125 µg/mL concentrations. All solvents and diluents, pure microorganisms, and pure media were used in control wells. A 10 µl microorganism inoculum was added to each well of the microplates. Microplates, including bacteria were incubated at 37°C for 16–20 h and microplates, including fungi were incubated at 35 °C for 24-48 h. After incubation, the lowest concentration of the compounds that completely inhibits macroscopic growth was determined and reported as minimum inhibitory concentrations (MICs).

2.5. Cell Culture and Cell Proliferation Assay

The effects of **5-11** on the proliferation of A549 (lung cancer cell line) and MCF-7 (breast cancer cell line) cells were determined by MTT assay. The MCF-7 and A549 were cultured in the incubator, and the proliferating cells were passaged into new 25 and 75 cm² flasks, and cell stocks were prepared for use in experiments. Cells were placed on DMEM medium; glutamine, 10% Fetal Bovine Serum (FBS), and 1% penicillin-streptomycin antibiotic mixture was added and grown under suitable conditions. 3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyl tetrazolium bromide (MTT) was dissolved in phosphate buffer (PBS). Before each run, the solution was prepared fresh from MTT powder. MCF-7 and A549 cells in DMEM medium, 5% CO₂ at 37°C was cultured in an incubator. In the evaluation of whether the cells multiply enough and cell viability, sowing was performed by counting on the cell counting device. Subsequently, the substances prepared in the wells on the plates were applied and left for 24 h incubation. At the end of the incubation periods, the medium in the plate was discarded, and 100 µL of MTT solution was added to the cells in each 96-well, and the cells were

incubated in the incubator for 2 h. At the end of the incubation, 100 μ L of DMSO was placed in each well, and the absorbance values were read in the ELISA device with a wavelength of 570 nm. Results were calculated according to the formula of viability and in % determined.

2.6. *In silico* ADME prediction

In addition to having a high pharmacological activity and low toxicity profile, a compound candidate to be a drug should have ideal pharmacokinetics. Within the scope of computer-aided drug development studies in recent years, estimates of absorption, distribution, metabolism, and absorption (ADME) profiles of drug candidates can be made. In this study, various pharmacokinetic parameter values such as log P, TPSA, n_{rotb} ,

molecular weight, and hydrogen bond donor-receptor number of the compounds synthesized using the Molinspiration software program were calculated (Cheminformatics, 2018). Drug-likeness scores were computed using the Molsoft program (Molsoft, 2004).

3. Results and Discussion

3.1. Chemistry

In this study, 7 pieces 2-(*p*-substituted phenyl)-5-(2-substitutedacetamido)benzoxazole derivatives, 1 of which are not original (compound **11**), were synthesized in three steps and the synthesis steps for the preparation of the target compounds are shown in Figure 2.

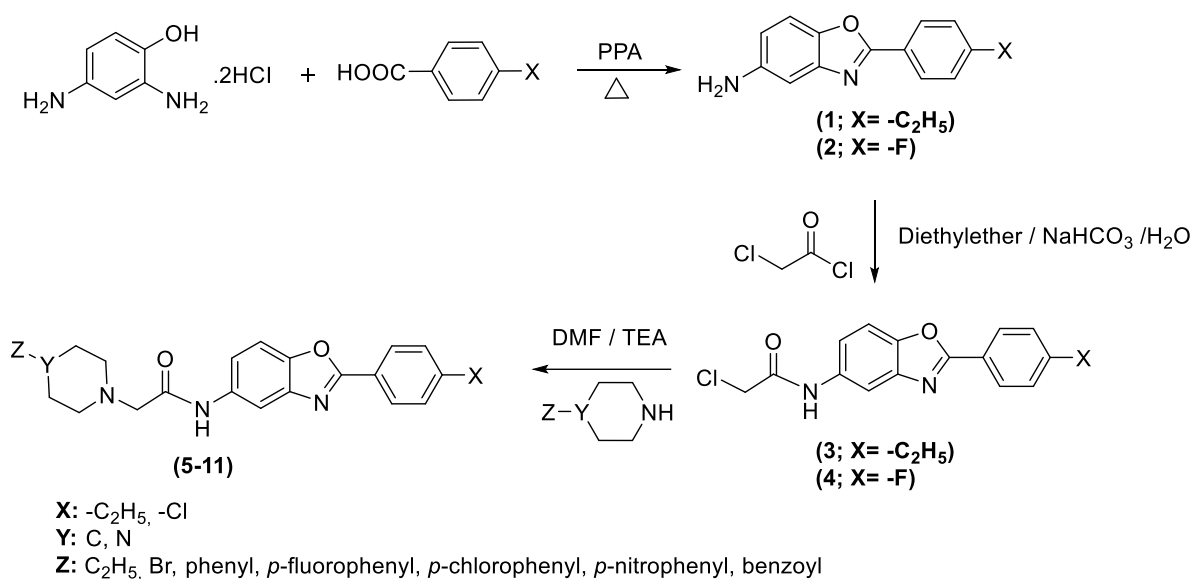


Figure 2. General procedure for the preparation of 5-11

During the synthesis process, the reaction medium was checked with TLC, and the compounds were purified by column chromatography as described in synthesis methods. The compounds' structure was confirmed by HRMS, ¹H-NMR and ¹³C-NMR spectroscopic methods, and melting points were determined. In the ¹H NMR spectra of compounds, the NH proton's signal was observed at 10.01–10.12 ppm as a broad singlet band. -CH₂ protons in the acetamido group were observed as singlets between 3.16–3.34 ppm. CH₂ protons of piperazine and piperidine ring were recorded at 2.28–3.75 ppm as a triplet band or multiplet. In general, aliphatic protons were observed at 1.13–3.92 ppm and aromatic protons at 6.70–8.12 ppm. Also, the ¹³C-NMR spectra and HRMS of the compounds were compatible with their formulas. The results were presented in the Material and method.

3.2. Cytotoxic Activity

MTT assay is a quantitative colorimetric assay for measuring cellular growth, cell survival, and cell proliferation based on live cells' ability. This method is based on the reduction of tetrazolium salts catalyzed by mitochondrial enzyme systems. Tetrazolium salts are generally colorless as substrates, substances that produce colored products as a result of the mitochondrial activity of living cells. MTT is a tetrazolium salt used for this purpose. Although it is yellow as a substrate, it forms water-insoluble blue-purple formazan salts when bound explicitly to the succinate-dehydrogenase (SDH) enzyme in mitochondria of living cells.

Meanwhile, the color created is measured colorimetrically, and the amount of formazan formed gives the number of viable cells.

All synthesized compounds were tested at 100 μ M concentration for cytotoxic activity against MCF-7 and A549 cell lines by MTT analysis, and 5-Fluorouracil was used as a standard drug at 64 μ M concentration. Measurements were taken as a result of a 24-h incubation period. The percentage of live cell presence values against these two cell lines were given in Table 2. The results showed that the compounds had moderate activity against two cell lines. While compound **9** showed the best activity, it reduced viability in A549 cells to 71.29% and viability in MCF-7 cells to 70%. The compounds generally showed higher activity against the MCF-7 cell line. In both cell lines, a compound having an ethyl group at the 4th position of the piperazine ring showed better activity.

Table 2. Percent live-cell presence values from 100 µM concentration

Compound	MCF-7	A549
	% Vitality	% Vitality
5	95.8	102.21
6	92.0	101.26
7	100.0	100.32
8	94.4	89.91
9	70.0	71.29
10	86.6	102.21
11	99.4	85.49
Contol	100.0	100.00
DMSO Control	85.2	93.38
5-Fluorourasil (64 µM)	73.13	73.99

3.3. Antimicrobial Activity

All the newly synthesized benzoxazoles were tested *in vitro* for antibacterial activity against *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *S. aureus* isolate [meticilline-resistant (MRSA)], *Enterococcus faecalis* ATCC 29212, *E. faecalis* isolate (resistant

to vancomycin) as Gram-positive bacteria; *Escherichia coli* ATCC 25922, *E. coli* isolate [has extended spectrum beta-lactamase (ESBL) enzyme], *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *P. aeruginosa* isolate (resistant to gentamicin) as Gram-negative bacteria, and antifungal activities of the compounds were evaluated against *Candida albicans* ATCC 10231, and *C. albicans* isolate. The standard drugs employed while assessing antimicrobial activities were vancomycin, ampicillin, gentamycin, ciprofloxacin, cefotaxime, fluconazole, and amphotericin B. The MIC values were determined by microdilution method according to the guidelines of the Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI). The antimicrobial activity MIC (µg / mL) of the compounds and reference drugs are given in Table 3. Compound 11 has been synthesized before, its antimicrobial effects have been evaluated, and these data are given in the relevant literature. Generally, synthesized benzoxazole derivatives showed weak activity against *S. aureus* and MRSA with MIC: 256 µg/mL. When activity against *E. faecalis* is examined; compound 5 showed a moderate activity compared to reference drugs with MIC: 64 µg/mL. Compounds in general; it has been observed to have a weak antimicrobial effect against *E. coli*, *P. aeruginosa*, and its isolates. While the antifungal activities of the compounds against *C. albicans* and *C. albicans* isolate vary between 64-128 µg/mL.

Table 3. *In vitro* antimicrobial MIC values (µg/mL) of 5-10 and reference drugs

Compound	Gram-positive bacteria				Gram-negative bacteria				Fungus	
	S.a	S.a.*	E.f.	E.f.*	E.c.	E.c.*	P.a.	P.a.*	C.a.	C.a.*
5	256	256	64	256	256	256	128	128	128	128
6	256	256	128	128	128	256	128	128	64	128
7	256	256	128	128	256	256	128	128	64	128
8	256	256	128	128	256	256	128	128	128	128
9	256	256	128	128	256	256	128	128	64	128
10	256	256	128	128	256	256	128	128	128	128
Ampicillin	2	>16	2	>16	8	>16	-	-	-	-
Vancomycin	2	2	1	8	-	-	-	-	-	-
Gentamicin	0.25	>16	-	-	0.5	>8	0.5	>8	-	-
Ciprofloxacin	0.5	>16	2	>4	0.0156	>2	0.125	>2	-	-
Cefotaxime	1	>16	-	-	0.125	>8	8	-	-	-
Fluconazole	-	-	-	-	-	-	-	-	0.125	>4
Amphotericin B	-	-	-	-	-	-	-	-	0.5	0.5

S.a.: *Staphylococcus aureus* ATCC 29213; S.a.*: *S. aureus* isolate (MRSA); E.f.: *Enterococcus faecalis* ATCC 29212; E.f.*: *E. faecalis* isolate (Vancomycin resistant -VREF); E.c.: *E. coli* ATCC 25922; E.c.*: *E. coli* isolate (contains broad spectrum β-lactamase enzyme); P.a.: *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853; P.a.*: *P. aeruginosa* isolate (gentamicin resistant); C.a.: *Candida albicans* ATCC 10231; C.a.*: *Candida albicans* isolate.

-*: not determined

3.4. In Silico ADME Prediction

Lipophilic, estimated volume, topological polar surface area, %ABS, molecular weight, rotatable bond number, hydrogen-bonded receptor number, hydrogen bond donor count of all compounds were given in Table 4. According to the five rules of Lipinski (molecular log P ≤5, molecular weight ≤500, number of hydrogen bond receptors ≤10, and number of hydrogen bond donors ≤5), an active oral drug must fully comply with this rule

or violate at most one of them (Lipinski, 2004). The absorption percentage was calculated using % ABS=109-(0.345xTPSA), and the compounds showed a good absorption profile in the range of 71.93-88.86% (Kilic-Kurt et al., 2019). Some of the compounds did not comply with Lipinski's log P but did not make more than one violation. Drug likeness score calculations qualitatively assess the chances of compounds becoming drugs for oral bioavailability, and compounds with zero or negative values are not considered drug-like candidates. Compounds 7, 10, and 11 had the lowest drug similarity score, while other compounds had a good drug-likeness score above 1.

Table 4. Calculated ADME parameters (5-11)

Comp.	Log P ≤5	TPSA -	%ABS -	MW ≤500	nON ≤10	nOHNH ≤5	nviolations ≤1	nrotb -	Volume -	Drug-likeness score
5	6.58	58.37	88.86	439.56	5	1	1	6	415.79	1.25
6	5.24	58.37	88.86	442.36	5	1	1	5	362.27	1.00
7	5.43	107.43	71.93	491.94	9	1	1	6	415.25	0.76
8	4.33	78.68	81.85	474.95	7	1	0	5	410.90	1.35
9	4.15	61.61	87.74	398.89	6	1	0	5	353.88	1.27
10	5.63	61.61	87.74	464.93	6	1	1	5	396.85	0.79
11	6.14	61.61	87.74	481.38	6	1	1	5	405.46	0.79

MW: Molecular weight. TPSA: Topological polar surface area. %ABS: Percentage absorption. nrotb: Number of rotatable bonds. nON: Number of hydrogen acceptors. nOHNH: Number of hydrogen donors. Log P: Log octanol/water partition coefficient.

4. Conclusions and Recommendations

In this study, a series of 2,5-disubstituted benzoxazole derivative compounds that we hope may be a new antimicrobial and cytotoxic agent was synthesized, and their antimicrobial and cytotoxic activities were determined. When the MIC values of the synthesized compounds and reference drugs were examined, it was observed that the reference drugs generally showed better antimicrobial activity. On the other hand, compound 9 showed the best cytotoxic activity on MCF-7 and A549 cell lines, with a reduction of 70% and 71.29% viability. The compounds also show a good predictive ADME profile. When all results are evaluated together; this study will make an important contribution to the studies for the development of safe, non-toxic new or alternative drugs.

5. Acknowledge

This work has been supported by Erciyes University Scientific Research Projects Coordination Unit with research project THD-2020-10038. NMR analysis of the compounds were performed by Erciyes University Technology and Research Center (TAUM) and HRMS analysis were performed by Bilkent University National Nanotechnology Research Center (UNAM).

References

- Alanis, A. J. (2005). Resistance to antibiotics: are we in the post-antibiotic era? *Archives of medical research*, 36(6), 697-705.
- Alper-Hayta, S., Arisoy, M., Temiz-Arpaci, Ö., Yildiz, I., Aki, E., Özkan, S., & Kaynak, F. (2008). Synthesis, antimicrobial activity, pharmacophore analysis of some new 2-(substitutedphenyl/benzyl)-5-[(2-benzofuryl) carboxamido] benzoxazoles. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 43(11), 2568-2578.
- Arandjelovic, P., Doerflinger, M., & Pellegrini, M. (2019). Current and emerging therapies to combat persistent intracellular pathogens. *Current opinion in pharmacology*, 48, 33-39.
- Arisoy, M., Temiz-Arpaci, O., Yildiz, I., Kaynak-Onurdag, F., Aki, E., Yalcin, I., & Abbasoglu, U. (2008). Synthesis, antimicrobial activity and QSAR studies of 2, 5-disubstituted benzoxazoles. *SAR and QSAR in Environmental Research*, 19(5-6), 589-612.
- Arisoy, M., Temiz-Arpaci, O., Kaynak-Onurdag, F., & Ozgen, S. (2012). Synthesis and antimicrobial activity of novel benzoxazoles. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 67(9-10), 466-472.
- Arisoy, M., Temiz-Arpaci, O., Kaynak-Onurdag, F., & Ozgen, S. (2013). Novel benzoxazoles: synthesis and antibacterial, antifungal, and antitubercular activity against antibiotic-resistant and-sensitive microbes. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 68(11-12), 453-460.
- Arisoy, M., Temiz-Arpaci, O., Kaynak-Onurdag, F., & Ozgen, S. (2014). Synthesis and Antimicrobial Evaluation of 2-(p-Substituted Phenyl)-5-[(4-substituted piperazin-1-yl) acetamido]-benzoxazoles. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 69(9-10), 368-374.
- CaLSI, C. (2018). Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing: Approved Twenty-: Document M100-S28. Wayne, PA, USA: CLSI, 2018.
- Celik, I., Erol, M., Temiz Arpaci, O., Sezer Senol, F., & Erdogan Orhan, I. (2020). Evaluation of activity of some 2, 5-disubstituted benzoxazole derivatives against acetylcholinesterase, butyrylcholinesterase and tyrosinase: ADME prediction, DFT and comparative molecular docking studies. *Polycyclic Aromatic Compounds*, 1-12.
- Cheminformatics, M. (2018). Calculation of molecular properties and bioactivity score. Computer software]. Retrieved from <http://www.molinspiration.com/cgi-bin/properties>.
- Edition, A. S.-S. (2007). CLSI document H3-A6. Wayne (PA): CLSI.
- Erol, M., Celik, I., Temiz-Arpaci, O., Kaynak-Onurdag, F., & Okten, S. (2020). Design, synthesis, molecular docking, density functional theory and antimicrobial studies of some novel benzoxazole derivatives as structural bioisosteres of nucleotides. *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*, 1-12.
- Fernández, Y., Cueva, J., Palomo, A. G., Ramos, M., de Juan, A., Calvo, L., García-Mata, J., García-Tejido, P., Peláez, I., & García-Estévez, L. (2010). Novel therapeutic approaches to the treatment of metastatic breast cancer. *Cancer treatment reviews*, 36(1), 33-42.
- Han, S.-Y., Lee, C. O., Ahn, S.-H., Lee, M.-O., Kang, S.-Y., Cha, H.-J., Cho, S. Y., Du Ha, J., Ryu, J. W., & Jung, H. (2012). Evaluation of a multi-kinase inhibitor KRC-108 as an anti-tumor agent in vitro and in vivo. *Investigational new drugs*, 30(2), 518-523.
- Jonckers, T. H., Rouan, M.-C., Haché, G., Schepens, W., Hallenberger, S., Baumeister, J., & Sasaki, J. C. (2012). Benzoxazole and benzothiazole amides as novel pharmacokinetic enhancers of HIV protease inhibitors. *Bioorganic & medicinal chemistry letters*, 22(15), 4998-5002.

- Kilic-Kurt, Z., Bakar-Ates, F., & Bahat, M. (2019). N, N'-diaryl urea derivatives: Molecular docking, molecular properties prediction and anticancer evaluation. *Journal of Molecular Structure*, 1193, 239-246.
- Lipinski, C. A. (2004). Lead-and drug-like compounds: the rule-of-five revolution. *Drug Discovery Today: Technologies*, 1(4), 337-341.
- Molsoft, L. (2004). ICM software manual. In: Version. <https://www.molsoft.com/>.
- Oehlers, L., Mazzitelli, C. L., Brodbelt, J. S., Rodriguez, M., & Kerwin, S. (2004). Evaluation of complexes of DNA duplexes and novel benzoxazoles or benzimidazoles by electrospray ionization mass spectrometry. *Journal of the American Society for Mass Spectrometry*, 15(11), 1593-1603.
- Oksuzoglu, E., Tekiner-Gulbas, B., Alper, S., Temiz-Arpaci, O., Ertan, T., Yildiz, I., Diril, N., Sener-Aki, E., & Yalcin, I. (2008). Some benzoxazoles and benzimidazoles as DNA topoisomerase I and II inhibitors. *Journal of enzyme inhibition and medicinal chemistry*, 23(1), 37-42.
- Sakamoto, T., Cullen, M. D., Hartman, T. L., Watson, K. M., Buckheit, R. W., Pannecouque, C., De Clercq, E., & Cushman, M. (2007). Synthesis and anti-HIV activity of new metabolically stable alkenyldiarylmethane non-nucleoside reverse transcriptase inhibitors incorporating N-methoxy imidoyl halide and 1, 2, 4-oxadiazole systems. *Journal of medicinal chemistry*, 50(14), 3314-3321.
- Sondhi, S. M., Singh, N., Kumar, A., Lozach, O., & Meijer, L. (2006). Synthesis, anti-inflammatory, analgesic and kinase (CDK-1, CDK-5 and GSK-3) inhibition activity evaluation of benzimidazole/benzoxazole derivatives and some Schiff's bases. *Bioorganic & medicinal chemistry*, 14(11), 3758-3765.
- Suzuki, H., Asakawa, A., Amitani, H., Nakamura, N., & Inui, A. (2013). Cancer cachexia—pathophysiology and management. *Journal of gastroenterology*, 48(5), 574-594.
- Taşcı, M., Temiz-Arpaci, O., Kaynak-Onurdag, F., & Okten, S. (2018). Synthesis and antimicrobial evaluation of novel 5-substituted-2-(p-tert-butylphenyl) benzoxazoles. *Indian Journal of Chemistry -Section B*, 57B(3), 385-389.
- Temeltas, G., Kosova, F., Arpacı, O. T., & Tuglu, I. (2020). Investigation of the effect on prostate cancer purine base analog of the newly developed compound. *Medicine*, 9(4), 823-828.
- Temiz-Arpaci, O., Arisoy, M., Sac, D., Doganc, F., Tasci, M., Senol, F. S., & Orhan, I. E. (2016). Biological evaluation and docking studies of some benzoxazole derivatives as inhibitors of acetylcholinesterase and butyrylcholinesterase. *Zeitschrift Fur Naturforschung Section C-a Journal of Biosciences*, 71(11-12), 409-413. doi:10.1515/znc-2016-0087
- Temiz-Arpaci, Ö., Oezdemir, A., Yalçın, İ., Yıldız, İ., Akı-Şener, E., & Altanlar, N. (2005). Synthesis and Antimicrobial Activity of Some 5-[2-(Morpholin-4-yl) acetamido] and/or 5-[2-(4-Substituted piperazin-1-yl) acetamido]-2-(p-substituted phenyl) benzoxazoles. *Archiv der Pharmazie: An International Journal Pharmaceutical and Medicinal Chemistry*, 338(2-3), 105-111.
- Wei, C. X., Guan, L. P., Jia, J. H., Chai, K. Y., & Quan, Z. S. (2009). Synthesis of 2-substituted-6-(4H-1,2,4-triazol-4-yl)benzo[d]oxazoles as potential anticonvulsant agents. *Arch Pharm Res*, 32(1), 23-31. doi:10.1007/s12272-009-1114-4
- Yeliz, U., Özkan, A. İ., & Tolan, V. Synthesis of New p-Alkylaminophenol Compounds and Investigation of Their Antimicrobial and Antioxidant Activity. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(16), 701-706.
- Yilmaz, S., Yalcin, I., Okten, S., Onurdag, F., & Aki-Yalcin, E. (2017). Synthesis and investigation of binding interactions of 1, 4-benzoxazine derivatives on topoisomerase IV in *Acinetobacter baumannii*. *SAR and QSAR in Environmental Research*, 28(11), 941-956.
- Zilifdar, F., Foto, E., Ertan-Bolelli, T., Aki-Yalcin, E., Yalcin, I., & Diril, N. (2018). Biological evaluation and pharmacophore modeling of some benzoxazoles and their possible metabolites. *Arch Pharm (Weinheim)*, 351(2), 1700265. doi:10.1002/ardp.201700265



Maksimum Güç Noktası İzleyici Algoritmalarının Verim, Salınım Miktarı ve Yakınsama Süresi Açısından Karşılaştırılması

Ufuk Badak^{1*}, Ali Bekir Yıldız²

^{1*} Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-2008-6337), ufukbadak2@gmail.com

² Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4043-7859), abyildiz@kocaeli.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 7 Kasım 2020 ve Kabul Tarihi 24 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.822975)

ATIF/REFERENCE: Badak, U. & Yıldız, A. B. (2021). Maksimum Güç Noktası İzleyici Algoritmalarının Verim, Salınım Miktarı ve Yakınsama Süresi Açısından Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 463-472.

Öz

Yenilenebilir enerji kaynaklarından daha verimli sonuçlar elde etmek için, Maksimum Güç Noktası İzleyicisi (MGNI) algoritmaları güç elektroniği devreleri ile birlikte kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Değişir ve Gözlemler algoritması, Artan İletkenlik algoritması ve Empedans Uyumluluğu algoritmasının bilgisayar ortamında benzetimi yapılmış ve iki farklı çalışma durumunda simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Maksimum gücü 213.15 W olan panellerden, iki adet seri ve iki adet paralel şekilde kullanılarak, DA – DA yükseltici dönüştürücü aracılığıyla, sözü edilen algoritmalar kullanılarak yaklaşık %90 - %96,5 arası verim ile panel güçlerinin yüke aktarımı sağlanmıştır. Her bir algoritma, simülasyon sonucunda elde edilen verim, salınım miktarı ve yakınsama süreleri açısından karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Değişir ve Gözlemler algoritması, Artan İletkenlik algoritması, Empedans Uyumluluğu algoritması, Verim, Salınım miktarı, Yakınsama süresi.

Comparison of Maximum Power Point Tracker Algorithms in Terms of Efficiency, Amount of Oscillation and Convergence Time

Abstract

Maximum Power Point Tracking (MPPT) algorithms are used in conjunction with power electronics circuits to obtain more efficient results from renewable energy sources. In this study, Perturb and Observe algorithm, Incremental Conductance algorithm and Impedance Compatibility algorithm have been simulated in the computer environment and simulated in two different operating conditions. From the panels with a maximum power of 213.15 W, using two serial and two parallel panels, the panel powers were transferred to the load with an efficiency of approximately 90% - 96.5% using the aforementioned algorithms via DA-DA converter. Each algorithm is compared in terms of efficiency, oscillation amount and convergence times obtained as a result of the simulation.

Keywords: Perturb and Observe Algorithm, Incremental Conductance Algorithm, Impedance Compatibility Algorithm, Efficiency, Oscillation Amount, Convergence Time.

* Ufuk Badak: ufukbadak2@gmail.com

1. Giriş

Dünya genelinde fosil yakıt kaynaklarının azalması, kullanılan fosil yakıtların küresel ısınmaya sebep olması ve çevreye verdiği zararlardan ötürü çevresel kaygıların artmasından dolayı, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talep günümüzde git gide artmaktadır [1]. Enerji sektöründe fosil yakıtara bağımlılığı azaltmada büyük bir paya sahip olan güneş enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları arasında en önemli enerji kaynaklarından biri olarak kabul edilmektedir [2]. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisi sınırsız olması, çevre ve gürültü kirliliğine yol açmaması, yakıt gereksinimi olmaması, işletme maliyetinin düşük olması ve devlet tarafından desteklenmesi gibi avantajlara sahipken, ilk yatırım maliyetinin yüksek olması ve enerji dönüşüm verimliliğinin düşük olması gibi dezavantajlara sahiptir [3-5].

Güneş panelleri, güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Elde edilen bu elektrik enerjisi güneşin ısınım miktarına, ısınım açısına, ortam sıcaklığına, gölgelenmelere ve panel yüzey temizliğine göre değişebilmektedir [6]. Değişken olan bu parametreler ve güneş panellerinin enerji dönüşüm verimliliğinin düşük olması nedeniyle, güneş panellerinden üretilen gücün maksimum seviyede tutulması amaçlanmaktadır [7]. Bu doğrultuda literatürde birden çok Maksimum Güç Noktası İzleyici teknikleri geliştirilmiştir [8-10].

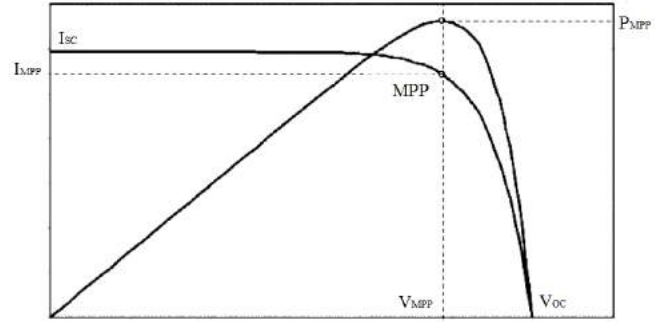
Güneş paneli uygulamalarında, sistemi maksimum güç noktasında çalıştırmak ve yüksek verimlilik elde etmek istenmektedir [11]. Bu doğrultuda, güneş panellerinde üretilen gücü, talep edilen çıkış gücüne yüksek verimlilikle transfer edebilmek için MGNİ birimi ile birlikte DA-DA dönüştürücüler kullanılmaktadır [12]. MGNİ birimi ile DA-DA dönüştürücünün doluluk oranı kontrol edilerek, panel maksimum güç noktasında çalıştırılır [13-14].

Bu çalışmada maksimum güç noktasının yerini tespit etmek için kullanılan Değiştir ve Gözlemler algoritması, Artan İletkenlik algoritması ve Empedans Uyumluluğu algoritması ele alınmıştır. Bu algoritmaların Matlab/Simulink ortamında benzetimi yapılmış, yapılan benzetimde iki farklı çalışma durumu ele alınmış ve her bir algoritmanın bu kriterlere göre simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın temel katkısı, bu algoritmaların verim, maksimum güç noktasındaki salınım miktarı ve yakınsama süreleri açısından karşılaştırılmasıdır.

2. Maksimum Güç Noktası İzleyici Algoritmalarının Tanımlanması

Güneş panellerinden maksimum gücün elde edildiği noktaya maksimum güç noktası denir. Maksimum güç noktasının tespit edilebilmesi için maksimum güç takip sistemleri ve ekipmanları kullanılır. Maksimum güç noktası izleyici tekniği, belirli bir güneş ısınımı altında güneş panelinden P_{MPP} maksimum güç çıkışı elde etmek için, V_{MPP} gerilim değeri, I_{MPP} akım değerlerinin bulunması ilkesine dayanır (Şekil 1) [15]. Güneş panellerinde maksimum güç noktası, güneş ısınım miktarı, ısınım açısı, panel sıcaklığı, gölgelenme ve panel yüzey temizliği gibi değişken olan çevresel etkenlerle değişebilmektedir. Değişken olan bu parametrelerden dolayı güneş panellerinden sürekli olarak maksimum güç elde edilememektedir. Panellerden sürekli olarak maksimum güç elde

edebilmek için farklı maksimum güç noktası izleyici teknikleri geliştirilmiştir [16]. Şekil 1'de, güneş panellerinde maksimum güç noktası ve bu noktanın panel akım ve gerilimiyle ilişkisi gösterilmiştir [17].



Şekil 1. PV panel I-V ve P-V karakteristiklerine göre maksimum güç noktası

Şekil 1'deki karakteristiğe göre, her çalışma koşulu için yalnızca bir maksimum güç noktası mevcuttur. Maksimum güç noktasında PV karakteristiğine göre eğim sıfırdır. Yani $dP/dV = 0$ olmaktadır. Şekil 1'e göre maksimum güç noktası denklem 1'de ki gibi ifade edilir.

$$P_{MPP} = I_{MPP}V_{MPP} \quad (1)$$

Maksimum güç noktasının yerini tespit edebilmek için geliştirilmiş bir çok teknik mevcuttur. Bu çalışmada bu tekniklerden, Değiştir ve Gözlemler algoritması, Artan İletkenlik algoritması ve Empedans Uyumluluğu algoritması ele alınmıştır. Bu bölümde, belirlenen algoritmalar tanımlanmış, akış diyagramları gösterilmiş ve işleyişi açıklanmıştır.

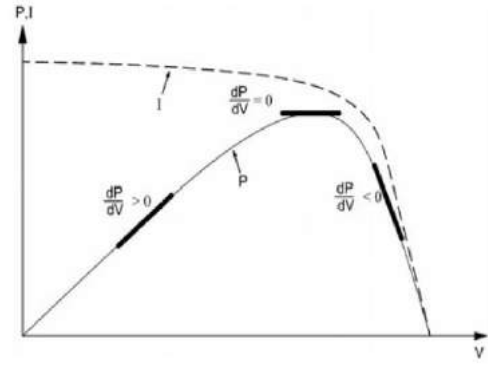
2.1. Değiştir ve Gözlemler Algoritması

Değiştir ve gözlemler algoritmasında, güneş panelinin karakteristik P-V eğrisinden ve güç-gerilim yapısından faydalanılır. Bu algoritma, sistemde sürekli olarak güneş panelinin gücünü takip eder [18]. Maksimum güç noktasına ulaşmak için, örneklenmiş olan güneş panelinin geriliminde artım veya azaltım yapılır. Yapılan gerilim artımı veya azaltımından sonra, güç değişimi hesaplanır (ΔP). ΔP değeri pozitifse, çalışma gerilimi tekrar artırılarak, güneş paneli çalışma noktası maksimum güç noktasına yaklaştırılır. Böylece gerilimde küçük hatalar oluşturularak panel gücünde meydana gelen hatanın işareti izlenir [19].

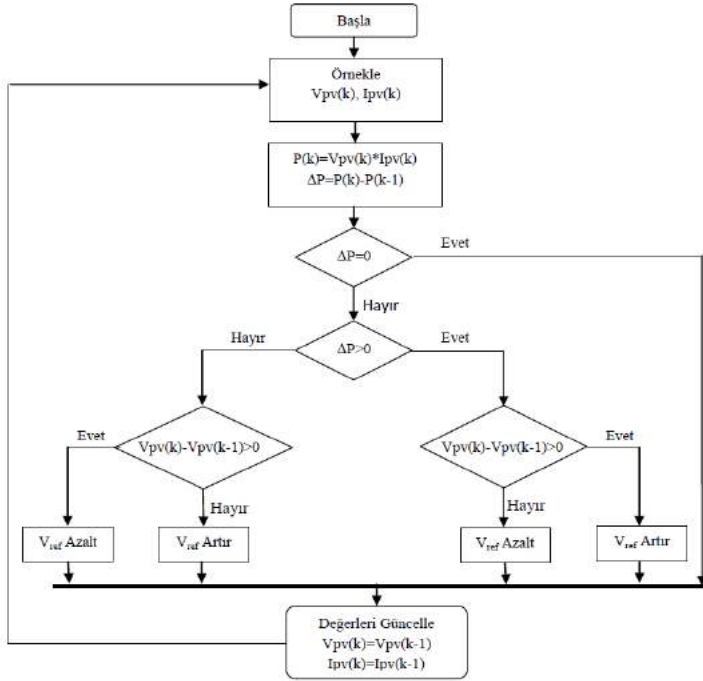
Bu algoritmada, maksimum güç noktasının sağındayken gerilim değeri artırıldığında güç değeri artacak, gerilim değeri azaltıldığında ise güç azalacaktır. Eğer maksimum güç noktasının sol tarafında gerilim değeri arttırıldığında güç azalacak, gerilim değeri azaltıldığında güç artacaktır. Bu doğrultuda gerilim değerindeki değişim ve buna bağlı olarak güçteki değişime göre bir sonraki adımdaki gerilim değişimi belirlenir. Maksimum güç noktasına ulaşabilmek için gerilim değeri değişim kararı Tablo 1'de verilmiştir. Bu algoritmanın işleyişini gösteren akış diyagramı ise Şekil 2'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Gerilim değeri değişimi karar tablosu

Gerilim Değerindeki Değişim	Güçteki Değişim	Değişim Yönü
Pozitif	Pozitif	Pozitif
Pozitif	Negatif	Negatif
Negatif	Pozitif	Negatif
Negatif	Negatif	Pozitif



Şekil 3. Artan İletkenlik Algoritması Çalışma Eğrisi



Şekil 2. Değiştir ve gözlemler algoritması akış diyagramı

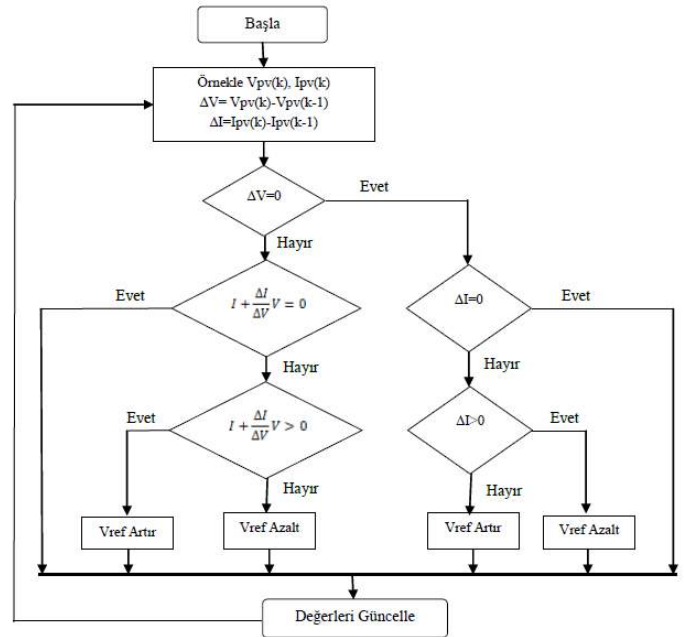
2.2. Artan İletkenlik Algoritması

Artan iletkenlik algoritması, güneş panelinin çıkış gücünün eğiminin sıfır olduğu yeri maksimum güç noktası, eğimin pozitif olduğu yeri maksimum güç noktasının solu, eğimin negatif olduğu yeri ise maksimum güç noktasının sağı olarak belirler. Şekil 3'de Artan iletkenlik algoritmasının çalışma eğrisi gösterilmiştir. Bu eğriden yararlanılarak denklem 2, denklem 3 ve denklem 4'deki eşitlikler elde edilir. Şekil 4'de Artan iletkenlik algoritmasına dair akış diyagramı verilmiştir.

$$\frac{dP}{dV} = 0 \rightarrow \text{Maksimum Güç Noktası} \quad (2)$$

$$\frac{dP}{dV} > 0 \rightarrow \text{Maksimum Güç Noktasının Solu} \quad (3)$$

$$\frac{dP}{dV} < 0 \rightarrow \text{Maksimum Güç Noktasının Sağı} \quad (4)$$

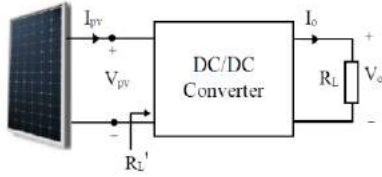


Şekil 4. Artan İletkenlik Algoritması Akış Diyagramı

2.3. Empedans Uyumluluğu Algoritması

Empedans uyumluluğu algoritması, elektriksel sistemlerdeki max. güç transferi teoremine dayanmaktadır. Bu teorem ile, güneş panelinden maksimum güç sağlayabilmek için, üretilen gücün yüke en yüksek verim ile aktarılması hedeflenmektedir. Güneş panelinin verimli bir güç kaynağı olarak kullanılabilmesi için panelin iç direnci ve yük empedanslarının eşit olması gerekir. Bu eşitliği sağlayabilmek için empedans uyumluluğu yöntemi kullanılır. Maksimum güç noktası izleme algoritmalarını kullanabilmek için, aracı bir sistem olarak DA-DA dönüştürücüler ve eviriciler kullanılmaktadır. Bu çalışmada, DA-DA yükseltilen dönüştürücü kullanılarak, yük ile panel arasında anahtarlamalı olarak nasıl empedansların eşitlendiği incelenmiştir.

Şekil 5 incelendiğinde, R_L' 'nin dönüştürücünün girişine yani panelin çıkışına indirgenmiş yük direnci olduğu görülmektedir. Yükün indirgenmiş halinin değerinin bağlı olduğu parametreler, denklem 5'te verilmiştir.



Şekil 5. DA – DA Dönüştürücünün girişine İndirgenmiş Yük ve Thevenin Eşdeğer Devresi

$$V_o = \frac{1}{1-D} \cdot V_{pv} \quad (5)$$

Denklem 5’de V_o yük gerilimi, V_{pv} panel gerilimi ve D kontrol sinyalinin doluluk oranıdır. Bu denklemde $\frac{1}{1-D}$ yerine N sabiti kullanılırsa, $V_o = N \cdot V_{pv}$ olacak şekilde yükseltici dönüştürücünün çıkış gerilimi ifade edilir. Denklem 6’da P_o çıkış gücü, P_{pv} panel gücüdür. Bu güçler birbirine eşit olduğunda maksimum güç transferi gerçekleştirilmiş olur.

$$P_o = P_{pv} = \frac{V_{pv}^2}{R_{pv}} = \frac{V_o^2}{R_L} \quad (6)$$

Çıkış gerilimin yerine $V_o = N \cdot V_{pv}$ eşitliği kullanılırsa denklem 7 elde edilir:

$$\frac{V_{pv}^2}{R_{pv}} = \frac{N^2 \cdot V_o^2}{R_L} \quad (7)$$

Buna göre,

$$\frac{1}{R_{pv}} = \frac{N^2}{R_L} \quad (8)$$

Denklem 8’de, N yerine Darbe Genişlik Modülasyonu’nun doluluk oranını yazılırsa, denklem 9 elde edilir.

$$D = 1 - \sqrt{\frac{R_{pv}}{R_L}} \quad (9)$$

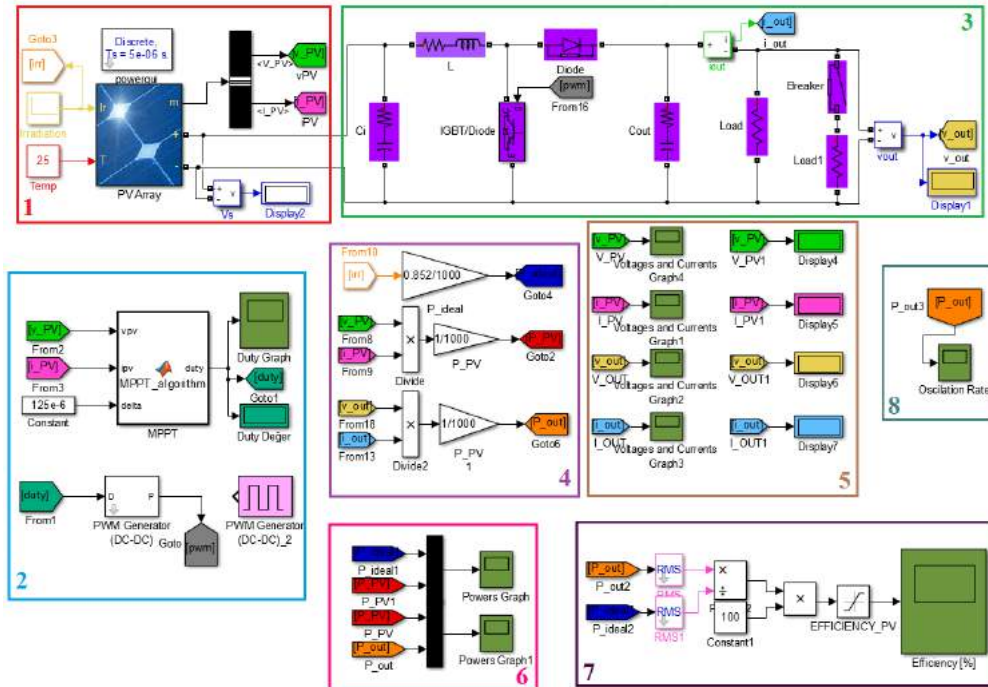
Denklem 9’a göre, yük ve panelin iç direnci dikkate alınarak maksimum güç aktarımı için gerekli kontrol sinyali üretilir. Panel girişine indirgenmiş direncin doluluk oranı ile ilişkisi, denklem 10’da verilmiştir.

$$R'_L = (1 - D^2) \cdot R_L \quad (10)$$

Bulunan doluluk oranı sayesinde her bir çevrim süresinde girişe indirgenmiş direnç bulunur. Bu işlem her bir çevrim boyunca tekrarlandığında, eğer sistemde yük, ısıtım ve sıcaklık değişimi varsa doluluk oranı tekrar hesaplanır ve girişe indirgenmiş direnç değeri güncellenir. Her bir çevrimde bu işlem yapılarak empedans uyumluluğu algoritmasının gerçekleşmesi sağlanır.

3. MGNI Matlab/Simulink Benzetimi

Tanımlanan algoritmaların Matlab/Simulink ortamında benzetiminin yapılabilmesi için Şekil 6’da verilen model tasarlanmıştır. Tasarlanan modele göre sistemin her bir çalışma durumu için verimi, sistemin maksimum güç noktasında yaptığı salınım miktarı ve sistemin yakınsama süreleri elde edilmektedir. Verim, yük gücünün ideal güce oranıdır. Salınım miktarı, sistemin maksimum güç noktasında yaptığı dalgalanmanın tepeden tepeye değişim miktarıdır. Yakınsama süresi ise sistemin maksimum güç noktasına ulaşması için gerekli olan süredir.



Şekil 6. Algoritmaların gerçekleşmesi için oluşturulan Matlab/Simulink modeli

(Burada; 1: Güneş paneli bloğu, 2:MGNI birimi bloğu, 3:DA –DA dönüştürücü bloğu, 4:Güç ölçüm bloğu, 5: Panele akım ve gerilim ile yük akım ve gerilim ölçüm bloğu, 6:İdeal, panel ve yük güçleri kıyaslama bloğu, 7:Verim değeri gözlem bloğu, 8: Maksimum güç noktasındaki salınım gözlem bloğu.)

Tasarlanan modelde bir numaralı blokta, ışınım ve sıcaklık değerleri panele girdi olarak verilmiştir. İki numaralı blok sistemin MGNİ birimidir. MGNİ biriminde, maksimum güç noktasını tespit edecek fonksiyon bloğu mevcuttur. Burada bulunan fonksiyon bloğuna her bir algoritma için geçerli koşullar tanımlanarak, her biri için oluşturulan simülasyon modeli çalıştırılmaktadır. Fonksiyon bloğunun giriş parametreleri panel akımı ve panel gerilimi, çıkış parametresi ise doluluk oranıdır. Aynı zamanda burada elde edilen doluluk oranındaki değişim grafiksel olarak gözlemlenebilmektedir. Elde edilen doluluk oranı üç numaralı blokta bulunan yükselten DA-DA dönüştürücüde bulunan kontrol edilebilir anahtarlama elemanının tetikleme ucuna uygulanarak dönüştürücü kontrol edilir. Dört numaralı blokta, panel gücü ve yük güçleri elde edilmektedir. Bu amaçla, bir numaralı blokta ölçülen panel akım ve gerilimi ile yük güçleri belirlenmektedir. Beş numaralı blokta, bir ve üç numaralı bloklarda elde edilen panel akım ve gerilimleri ile yük akım ve gerilimleri grafiksel olarak çizdirilmiş ve sayısal değerleri anlık olarak gözlemlenmiştir. Altı numaralı blokta, dört numaralı blokta elde edilen panel ve yük güçleri, ideal güç ile kıyaslanmış ve grafiksel olarak çizdirilmiştir. Yedi numaralı blokta, yük gücü ideal güç ile oranlanmış ve verim elde edilmiştir. Elde edilen verim grafiksel olarak çizdirilmiştir. Sekiz numaralı blokta yük gücü grafiksel olarak çizdirilmiş ve sistemin maksimum güç noktasında yaptığı salınım miktarı ve yakınsama süreleri incelenmiştir. Tasarlanan modelde kullanılan güneş paneline ait elektriksel parametreler Tablo 2’de verilmiştir.

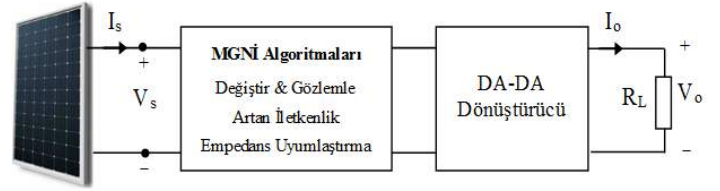
Sistemin çalışma koşulları, $t=0$.sn ile $t=2$.sn aralığında ışınım değeri 1000 W/m^2 ’dir. $t=2$.sn ile $t=4$.sn aralığında sistemin ışıma miktarında değişim olmadan sisteme paralel olarak 100Ω ’luk omik bir yük ilave edilmektedir (Çalışma koşulundaki değişim). Bu çalışma koşulları altında panel akım ve gerilimleri ile yük akım ve gerilimleri ölçülerek, panel gücü ve yük gücü ölçülmüş ve grafiksel olarak değişimleri elde edilmiştir. Elde edilen panel gücü ve yük gücü ideal güç ile kıyaslanarak, verim, salınım miktarı ve yakınsama süreleri her bir algoritma için belirlenmiştir.

Tablo 2. Kullanılan güneş panelinin elektriksel özellikleri

Parametre	Değer
Panel modeli	1Soltech ISTH-215-P
Kısa devre akımı (I_{SC})	7.84 A
Açık devre gerilimi (V_{OC})	36.3 V
Maksimum güçte akım (I_{MPP})	7.35 A
Maksimum güçte gerilim (V_{MPP})	29 V
Maksimum güç (P_{MPP})	213.15 W

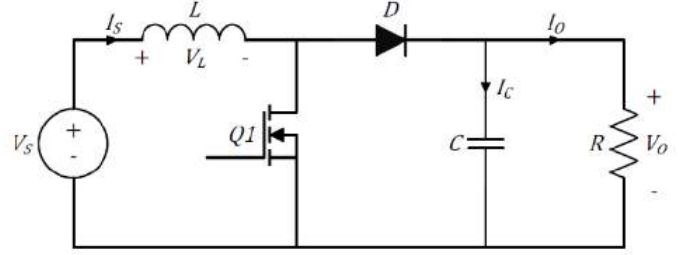
3.1. Yükselten DA – DA Dönüştürücü

Güneş panellerinden maksimum güç elde ederek yüke aktarılması için tasarlanan modelde (Şekil 6) yükselten dönüştürücü kullanılmıştır. Dönüştürücü yapısında bulunan kontrol edilebilir anahtarlama elemanı, doluluk oranı ile kontrol edilmekte ve böylece yüke maksimum güç aktarılmaktadır. Şekil 7’de görüldüğü gibi yükselten dönüştürücü MGNİ birimi ile kontrol edilmekte ve bu sayede yüke maksimum güç aktarılmaktadır.



Şekil 7. Yükselten DA – DA Dönüştürücü ve MGNİ Sistemi

Kullanılan modelde yükselten dönüştürücünün giriş gerilimi (V_S) panelin çıkış gerilimiyken, dönüştürücünün çıkış gerilimi (V_O) ise yük gerilimidir. Yükselten dönüştürücünün temel devre şeması ise aşağıda Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. Yükselten DA – DA dönüştürücü devresi

Dönüştürücüde bulunan elemanların değerleri aşağıda Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Yükselten DA – DA dönüştürücü de kullanılan elemanların değerleri

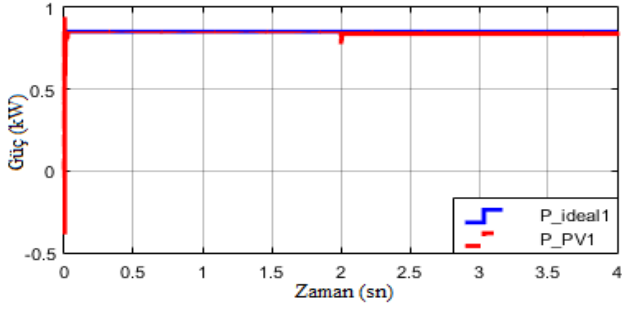
Eleman	Değer
C1 (μF)	100
L1 (mH)	2
C2 (μF)	100
R1 (Ω)	100
R2 (Ω)	100
Frekans (Hertz)	7500

3.2. Maksimum Güç Noktası İzleyici Birimli Çalışma

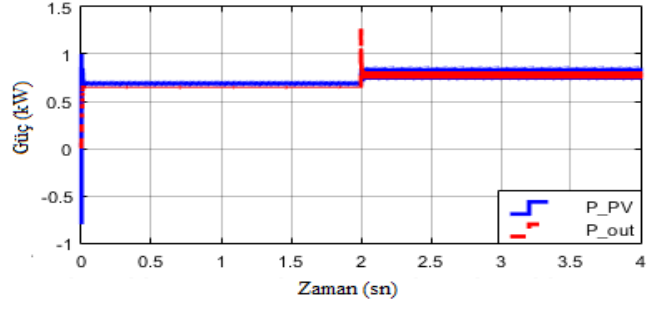
Tasarlanan modelde, Bölüm 2’de tanımlanan algoritmalara ait simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonucunda elde edilen ideal güç, panel gücü ve yük güçleri birbiri ile kıyaslanmış ve değişimleri grafiksel olarak çizdirilmiştir. Buna ek olarak, sistemi kontrol eden doluluk oranındaki değişim grafiksel olarak çizdirilmiştir. Burada elde edilen güçler ile birlikte yük ve panel güçleri oranlanarak her bir algoritma için verim elde edilmiştir. Bulunan yük güçlerine göre, her bir algoritma için maksimum güç noktasındaki salınım miktarı ve yakınsama süreleri hakkında bilgiler elde edilmiştir.

3.2.1. Değiştir ve Gözlemle Algoritması

Tasarlanan model, Değiştir ve Gözlemle algoritması için çalıştırılmıştır. Elde edilen ideal güç, panel gücü ve yük güçleri belirlenmiştir. Şekil 9.a’da panel gücü ile ideal güç arasındaki ilişki, Şekil 9.b’de yük gücü ile ideal güç arasındaki ilişki verilmiştir. Şekil 10’da ise her bir çalışma koşulunda anlık olarak doluluk oranının değişimi verilmiştir.

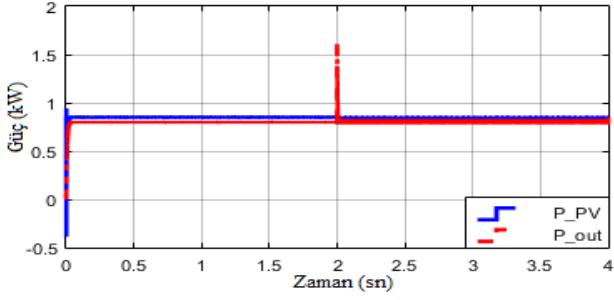


a) İdeal ve Panel güçleri



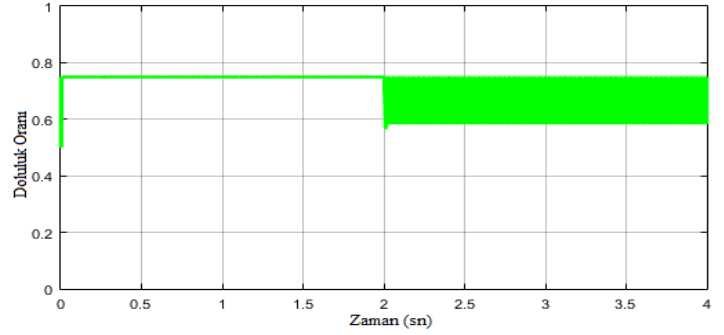
b) Panel ve Yük güçleri

Şekil 11. İdeal, Panel ve Yük güçleri

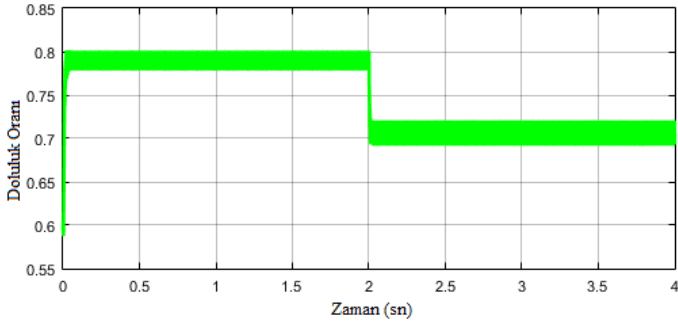


b) Panel ve Yük güçleri

Şekil 9. İdeal, Panel ve Yük güçleri



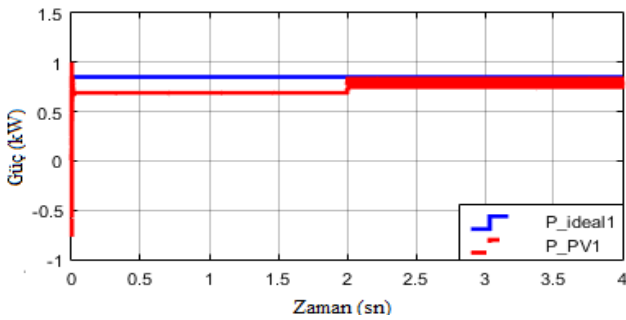
Şekil 12. Doluluk oranında ki değişim



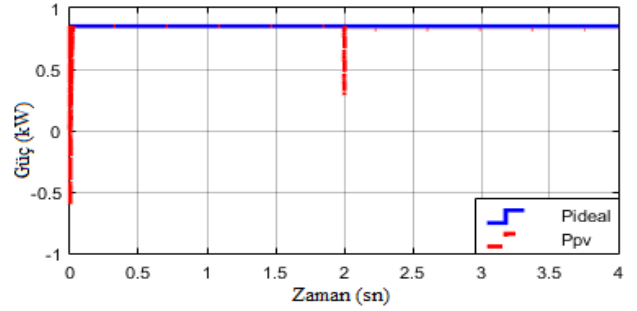
Şekil 10. Doluluk oranında ki değişim

3.2.2. Artan İletkenlik Algoritması

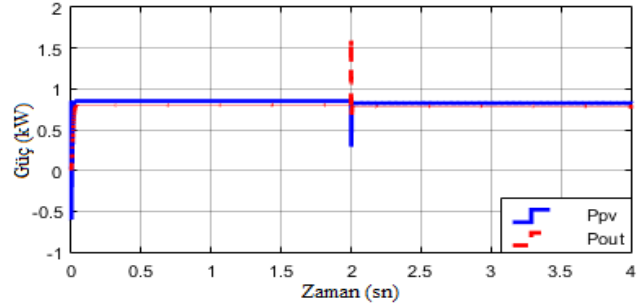
Tasarlanan model Artan İletkenlik algoritması için çalıştırılmıştır. Elde edilen ideal güç, panel gücü ve yük güçleri belirlenmiştir. Şekil 11.a'da panel gücü ile ideal güç arasındaki ilişki, Şekil 11.b'de yük gücü ile ideal güç arasındaki ilişki verilmiştir. Şekil 12'de ise her bir çalışma koşulunda anlık olarak doluluk oranının değişimi verilmiştir.



a) İdeal ve Panel güçleri

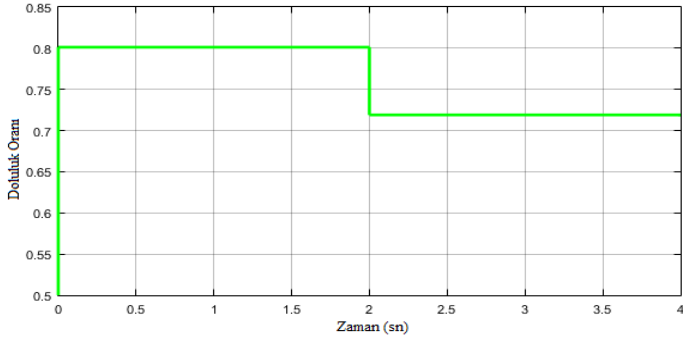


a) İdeal ve Panel güçleri



b) Panel ve Yük güçleri

Şekil 13. İdeal, Panel ve Yük güçleri

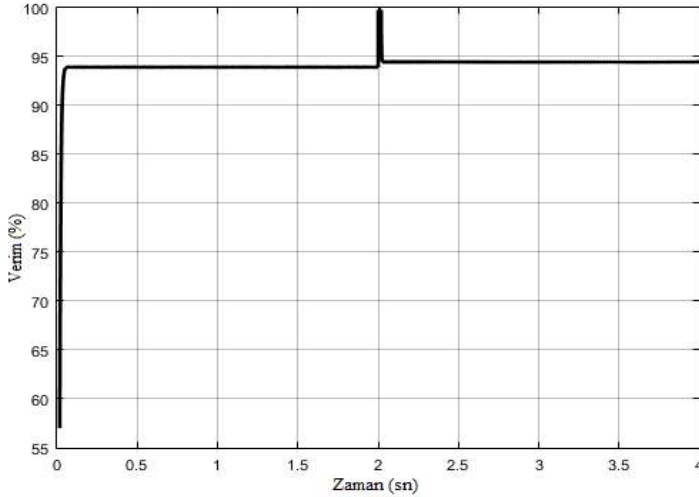


Şekil 14. Doluluk oranında ki değişim

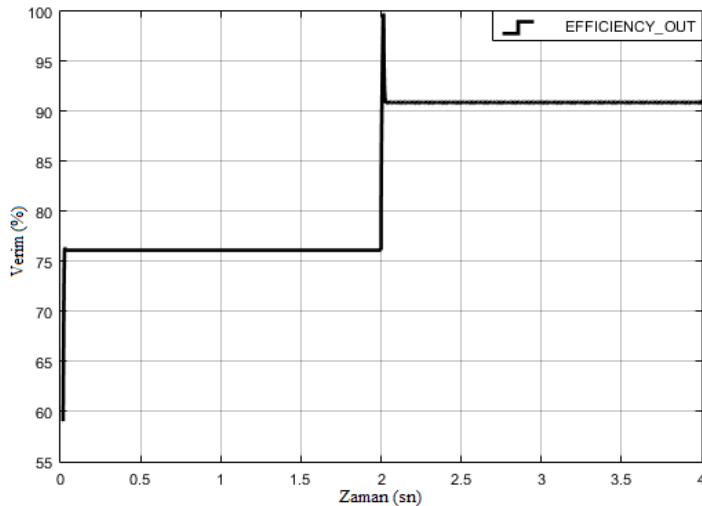
4. Matlab/Simulink Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bu bölümde, Bölüm 3.2’de elde edilen ideal güç, panel gücü ve yük güçleri için her bir çalışma koşulunda elde edilen verim, maksimum güç noktasındaki salınım miktarı ve yakınsama süreleri grafiksel olarak çizdirilmiş ve ortalama sayısal değerleri tablolar eşliğinde belirtilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda ilgili başlıklar altında ele alınmıştır.

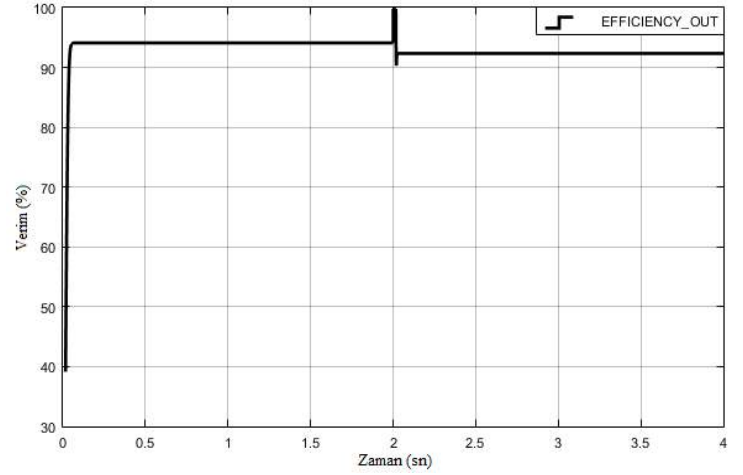
4.1. Verim



Şekil 15. Değiştir ve Gözlem algoritması için verim



Şekil 16. Artan İletkenlik algoritması için verim



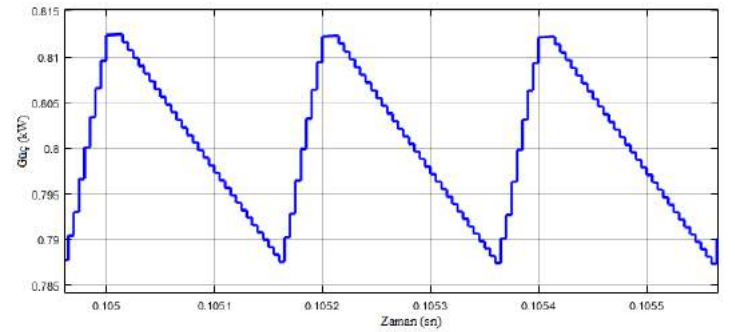
Şekil 17. Empedans Uyumluluğu algoritması için verim

Tablo 4. Her bir algoritmaya ait verim değerleri

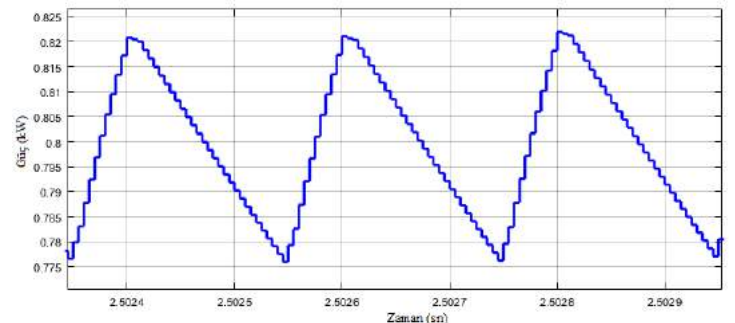
Algoritmalar	Zaman (sn)	
	0-2 sn Verim (%)	2-4 sn Verim (%)
Değiştir ve Gözlemle	93.93	94.46
Artan İletkenlik	76.14	90.93
Empedans Uyumluluğu	94.11	92.34

4.2. Salınım Miktarı

Tanımlanan her bir algoritma için, her bir çalışma koşulunda elde edilen maksimum güç noktasındaki salınım miktarlarının belirli kesit aralığındaki grafikleri Şekil 18, Şekil 19, Şekil 20’de verilmiştir. Elde edilen maksimum güç noktasındaki salınım miktarının tepeden tepeye sayısal değerleri ise Tablo 5’de verilmiştir.

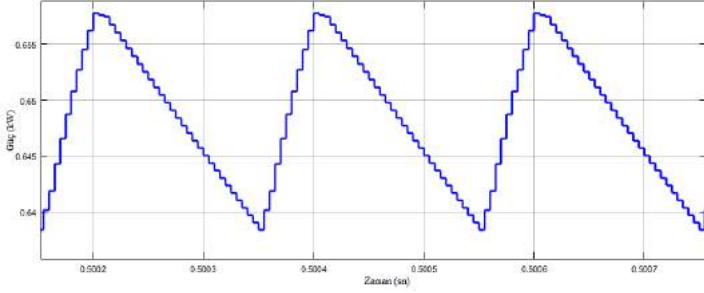


a) $t=0. sn$ ve $t=2.sn$ aralığında maksimum güç noktasında salınım miktarı kesiti

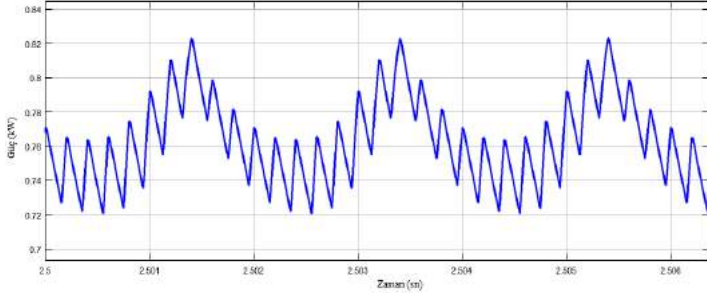


b) $t=2. sn$ ve $t=4.sn$ aralığında maksimum güç noktasında salınım miktarı kesiti

Şekil 18. Değiştir ve gözlemler algoritması için maksimum güç noktasında belirli kesir aralığında salınım miktarı

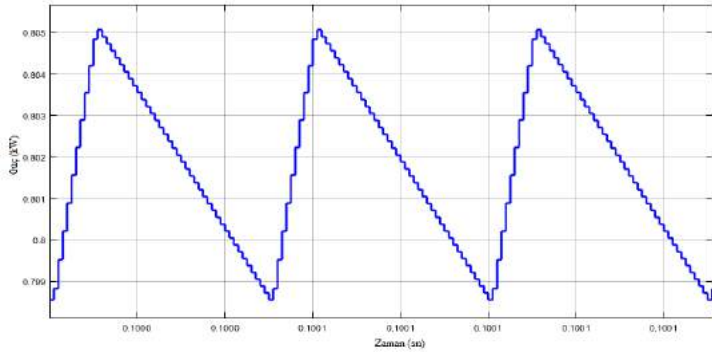


a) $t=0. sn$ ve $t=2.sn$ aralığında maksimum güç noktasında salınım miktarı kesiti

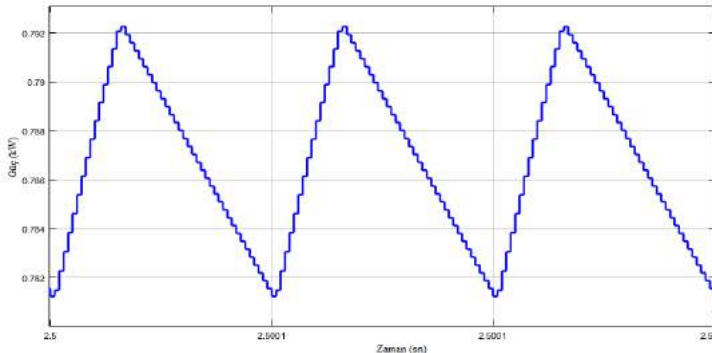


b) $t=2. sn$ ve $t=4.sn$ aralığında maksimum güç noktasında salınım miktarı kesiti

Şekil 19. Artan iletkenlik algoritması için maksimum güç noktasında belirli kesir aralığında salınım miktarı



a) $t=0. sn$ ve $t=2.sn$ aralığında maksimum güç noktasında salınım miktarı kesiti



b) $t=2. sn$ ve $t=4.sn$ aralığında maksimum güç noktasında salınım miktarı kesiti

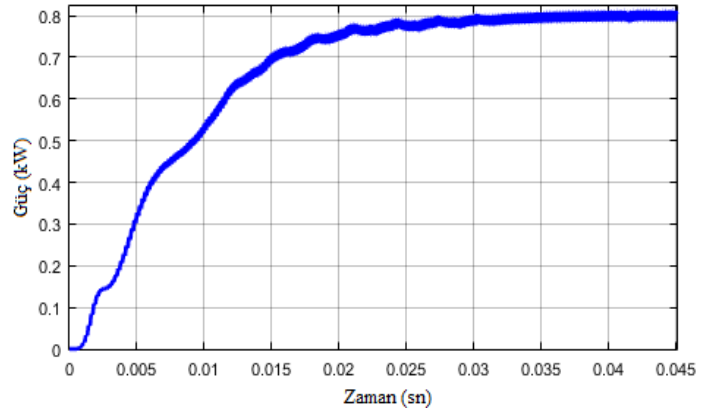
Şekil 20. Empedans uyumluluğu algoritması için maksimum güç noktasında belirli kesir aralığında salınım miktarı

Tablo 5. Her bir algoritmaya ait salınım miktarları

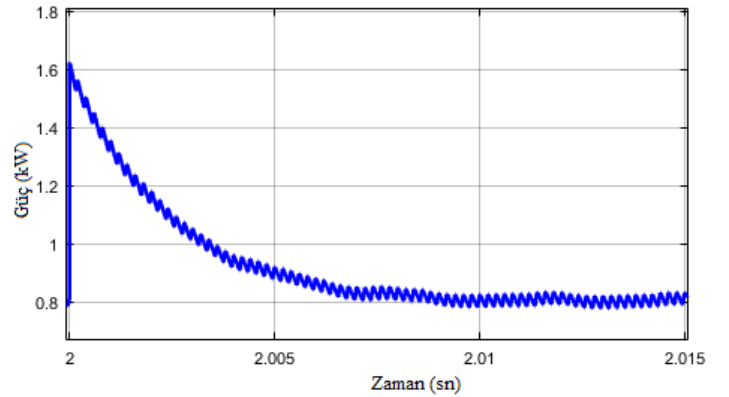
Algoritmalar	Zaman (sn)	
	0-2 sn Salınım (ΔW)	2-4 sn Salınım (ΔW)
Değiştir ve Gözlemler	25	58
Artan İletkenlik	13.5	81
Empedans	5.9	11
Uyumluluğu		

4.3. Yakınsama Süresi

Tanımlanan her bir algoritma için, her bir çalışma durumunda sistemin maksimum güç noktasına ulaşması için gerekli olan yakınsama süreleri Şekil 21, Şekil 22, Şekil 23'de verilmiştir. Her bir çalışma durumu için belirlenen yakınsama sürelerinin sayısal değerleri ise Tablo 6'da verilmiştir.



a) $t=0. sn$ ve $t=2.sn$ aralığında yakınsama süresi



b) $t=2. sn$ ve $t=4.sn$ aralığında yakınsama süresi

Şekil 21. Değiştir ve gözlemler algoritması için yakınsama süreleri

Tablo 6. Her bir algoritma için yakınsama süreleri

Algoritmalar	Zaman (sn)	
	0-2 sn Y.Süresi (ms)	2-4 sn Y.Süresi (ms)
Değiştir ve Gözlemler	20	15
Artan İletkenlik	25	25
Empedans	45	8
Uyumluluğu		

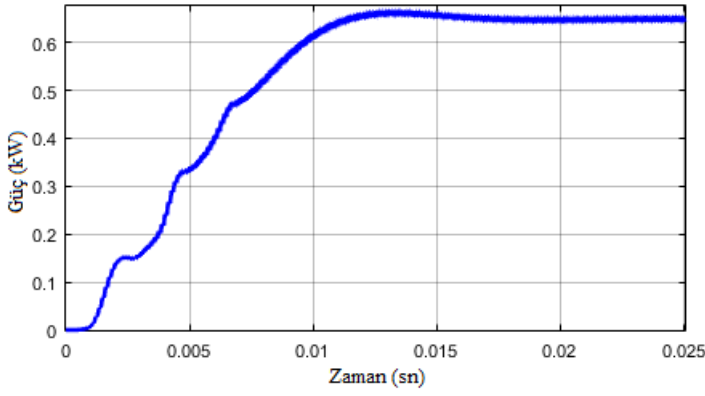
5. Sonuçlar

Bu çalışmada, MGNİ algoritmaları verim, maksimum güç noktasındaki salınım miktarı ve yakınsama süreleri açısından incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Bu algoritmalar arasında, ilk çalışma durumunda ($t=0.sn$ ve $t=2.sn$ aralığı) en yüksek verime ulaşan Empedans Uyumluluğu algoritmasıyken, ikinci çalışma aralığındaki ($t=2.sn$ ve $t=4.sn$ aralığı) değişim durumunda en yüksek verime Değiştir ve Gözlemler algoritması ulaşmaktadır. Bunun sebebi, ilk durumda herhangi bir değişim yokken Empedans Uyumluluğu algoritması maksimum güç transferi yapabilmekte ve yük değişimi olmadığı için sisteme kolayca adapte olabilmektedir. İkinci çalışma durumunda sisteme paralel omik 100Ω 'luk yük ilave edildiğinde Empedans Uyumluluğu algoritması yük değişiminden olumsuz etkilenmekte ve Değiştir ve Gözlemler algoritmasına göre daha az verimle çalışmaktadır.

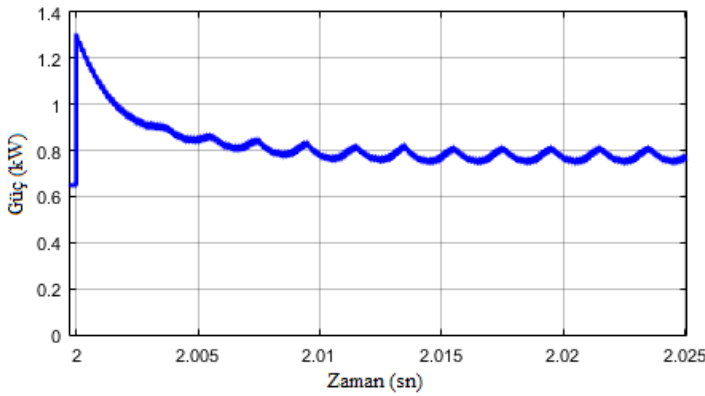
Maksimum güç noktasındaki salınım miktarı açısından değerlendirme yapıldığında, birinci çalışma aralığında ($t=0.sn$ ve $t=2.sn$ aralığı) ve ikinci çalışma aralığında ($t=2.sn$ ve $t=4.sn$ aralığı) en az salınımı Empedans Uyumluluğu algoritması sağlamaktadır. Bunun sebebi, bu algoritmanın maksimum güç transferi ilkesine dayanıp maksimum güç noktasının yerini tespit ediyor olmasıdır.

Yakınsama süresi açısından değerlendirme yapıldığında, birinci çalışma aralığında ($t=0.sn$ ve $t=2.sn$ aralığı) en ideal sistem Değiştir ve Gözlemler algoritmasıyken, ikinci çalışma aralığında ($t=2.sn$ ve $t=4.sn$ aralığı) en ideal sistem Empedans Uyumluluğu algoritmasıdır. Bu durumda Artan İletkenlik algoritması daha yavaş ilerlemektedir. Bunun sebebi, Artan iletkenlik algoritmasının hesap işlemlerinin, Değiştir Gözlemler ve Empedans Uyumluluğu algoritmalarına göre fazla zaman almasıdır. Aynı zamanda Artan İletkenlik Algoritması ortam değişimlerine tepki süresi değiştir ve gözlemler algoritmasına göre daha uzundur.

Tüm algoritmalar için eşit şartlar sağlandığında ve sistemde herhangi bir yük değişimi olmadığında, Empedans Uyumluluğu algoritması daha yüksek verimlere ulaşılmasında daha iyi bir seçenek olacaktır. Eğer sistemde değişken omik yükler mevcutsa bu durumda daha yüksek verim değerlerine ulaşabildiği için Değiştir ve Gözlemler algoritmasının kullanılması daha uygun olacaktır. İleriki çalışmalarda değişken omik ve endüktif yük durumları ele alınabilir.

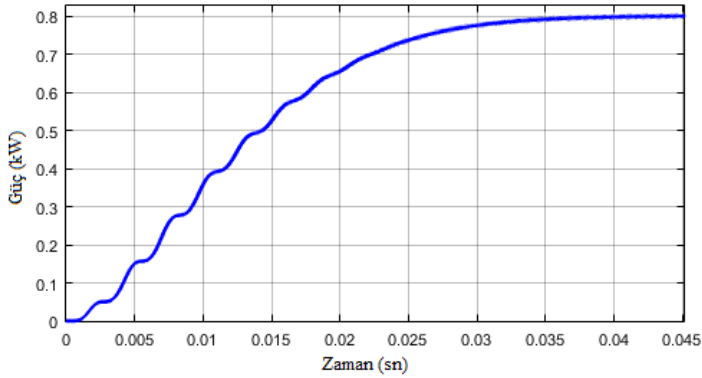


a) $t=0.sn$ ve $t=2.sn$ aralığında yakınsama süresi

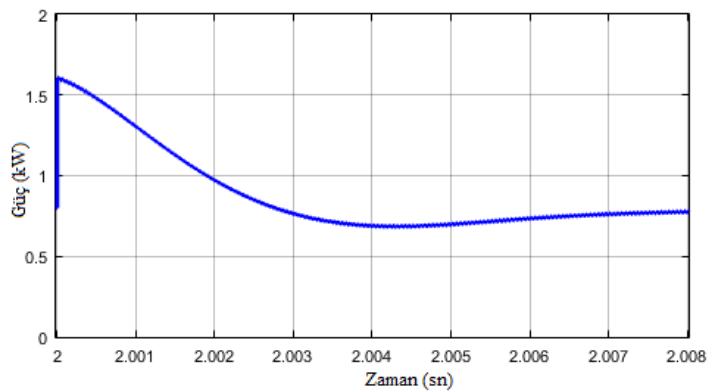


b) $t=2.sn$ ve $t=4.sn$ aralığında yakınsama süresi

Şekil 22. Artan iletkenlik algoritması için yakınsama süreleri



a) $t=0.sn$ ve $t=2.sn$ aralığında yakınsama süresi



b) $t=2.sn$ ve $t=4.sn$ aralığında yakınsama süresi

Şekil 23. Empedans uyumluluğu algoritması için yakınsama süreleri

Kaynakça

[1] Özbay, H., et al., 2016, “Farklı Eğim Açılarındaki Fotovoltaik Panellerin Elektriksel Ölçümlerinin Raspberry Pi ile İzlenmesi”, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi 4.2.

[2] Düz, H., 2016, “Storing solar energy inside compressed air through a heat machine mechanism”, Gazi University Journal of Science, 29.2, 245-251.

[3] Karafil, A., Ozbay, H. and Oncu, S., 2020, “Design and Analysis of Single Phase Grid Tied Inverter with PDM MPPT Controlled Converter”, IEEE Transactions on Power Electronics 35.5, 4756-4766.

[4] Wenham, S. R., 2012, “Applied Photovoltaics”, Routledge, London, 29-39.

[5] Leva S., Zaninelli D., and Contino R., 2007, “Integrated Renewable Sources for Supplying Remote Power Systems”, WSEAS Transactions on Power Systems, 2,2, 41–48.

[6] Reisi A. R., Moradi M. H., Jamasb S., Classification and comparison of maximum power point tracking techniques for photovoltaic system: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013, 19, 433-443.

[7] Koizumi H., Kurokawa K., 2005, “A Novel Maximum Power Point Tracking Method for PV Module Integrated Converter”, 36th IEEE Power Electronics Specialists Conference, (PESC'05), 2081-2086, USA.

[8] Basoglu ME., Cakir B., 2016, “Comparisons of MPPT performances of isolated and non-isolated DC-DC converters by using a new approach”, Renewable & Sustainable Energy Reviews, 60, 1100-1113.

[9] Ibnelouad A.; et al.; 2017, “A Comprehensive Comparison of the Classic and Intelligent Behavior MPPT Techniques for PV Systems”, 14th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD), Morocco.

[10] Kumar S.; Sahu HS.; Nayak SK.; 2019, “Estimation of MPP of a Double Diode Model PV Module From Explicit I-V Characteristic”, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol.66, Issue 9.pp.7032-4042.

[11] Heydari, M., Khoramikia, H., & Fatemi, A., 2019, “High-voltage gain SEPIC-based DC–DC converter without coupled inductor for PV systems”, IET Power Electronics, 12.8, 2118-2127.

[12] Gupta PP., Kishore GI.; Tripathi RK., 2019, “Implementing High Gain DC-DC Converter with Switched Capacitor for PV System”, Innovations in Power and Advanced Computing Technologies (i-PACT), India.

[13] Yadav I.; Maurya SK.; 2020, “Modelling and Analyzing of DC-DC Converter for Solar Pump Applications”, Int. Conference on Power Electronics & IoT Applications in Renewable Energy and its Control, India.

[14] Kırıcıoğlu O., Yıldız AB., 2015, “Fotovoltaik Panelin Tek Diyotlu Eşdeğer Devresine Ait Büyük Sinyal Analizi”, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu.

[15] Nakir İ., 2007, “Fotovoltaik Güneş Panellerinde GTS ve MGTS Kullanarak Verimliliğin Arttırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,75.

[16] Aslıhan K., 2010, “DA Çevirici Temelli Fotovoltaik Elektrik Üretim Sistemlerinin İncelenmesi ve Simülasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,82.

[17] Tevfik K., 2013. “50W Led TV Uygulamaları İçin Güneş Enerjili Bir Güç Kaynağı Tasarımı ve Geliştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara,121.

[18] Tekeshwar P.S., Dixit T.V., 2014, “Modelling and Analysis of Perturb & Observe and Incremental Conductance MPPT Algorithm for PV Array Using Cuk Converter”, IEEE Student's Conference on Electrical, Electronics and Computer Science.

[19] Rajiv R., Yatendra Y., Umashankar S. Vijayakumar D., 2013, “Modeling and Simulation of Incremental Conductance MPPT Algorithm Based Solar Photo Voltaic System using CUK Converter”.



Towards Adoption of Blockchain Technology for Enhancing Communication in Smart Transportation

Busra Ozdenizci Kose^{1*}

^{1*} Gebze Technical University, Faculty of Business Administration, Department of Management, Kocaeli, Turkey, (ORCID: 0000-0002-8414-5252),
busraozdenizci@gtu.edu.tr

(First received 8 November 2020 and in final form 26 January 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.823102)

ATIF/REFERENCE: Ozdenizci Kose, B. (2021). Towards Adoption of Blockchain Technology for Enhancing Communication in Smart Transportation. *European Journal of Science and Technology*, (21), 473-485.

Abstract

Today, IoT (Internet of Things) revolution and V2X (Vehicle-to-Everything) paradigm are collaboratively making a deep impact on a wide range of industrial areas, especially on transportation and automotive industry. Efficient and value added business models are highly appreciated to revolutionize transportation services and environments over the world; and to establish autonomous transport systems without the need of minimum possible human intervention. On the other hand; currently transportation ecosystem stakeholders are facing some problems including data integrity, non-repudiation, and trust. Data manipulation, missing information, and inconsistencies are examples of serious problems in the context of automated mobility and heterogeneity. This study aims to explore the potential of Blockchain technology in smart transportation. In this context, a communication model is presented for smart transportation ecosystems that provides solutions to problems, and also ensures data integrity, non-repudiation and trust by utilizing Blockchain technology. The proposed smart contract based model allows trustless users to negotiate on immutable and transparent data without the need for a trusted third party which can provide further innovative services. The proposed model is evaluated in aspects of appropriateness of technology, technical features, and adoption and diffusion of technology. Taking all this into account, it is possible to point out that the proposed model, not only have the potential of supporting development of V2X and smart transportation ecosystems, but also is feasible to other various smart environments having high heterogeneity and mobility.

Keywords: Blockchain; Communication; Heterogeneity; Mobility; Smart Transportation; Adoption of Technology.

Akıllı Ulaşımında İletişimin Geliştirilmesi için Blockchain Teknolojisinin Benimsenmesi

Öz

Günümüzde IoT (Nesnelerin İnterneti) devrimi ve V2X (Vehicle-to-Everything) paradigması, özellikle ulaşım ve otomotiv endüstrisi olmak üzere, çeşitli endüstriyel alanlar üzerinde işbirliği içinde derin bir etki yaratmaktadır. Verimli ve katma değerli iş modelleri, ulaştırma hizmetlerinde dünya çapında devrim yaratmak ve insan müdahalesine ihtiyaç duymadan otonom ulaşım sistemleri kurmak için büyük ilgi görmektedir. Diğer yandan; şu anda ulaşım ekosistemi paydaşları hareketlilik ve heterojenlik bağlamında veri bütünlüğü, inkar etmeme ve güven gibi bazı sorunlarla karşı karşıyadır. Veri manipülasyonu, eksik bilgiler ve tutarsızlıklar ciddi sorunlara örnektir. Bu çalışma, akıllı ulaşımında Blockchain teknolojisinin potansiyelini keşfetmeyi amaçlamaktadır. Bu bağlamda, akıllı ulaşım ekosistemleri için olası sorunlara çözümler sağlayacak ve aynı zamanda Blockchain teknolojisini kullanarak veri bütünlüğü, inkar etmeme ve güven sağlayacak bir iletişim modeli sunulmaktadır. Önerilen akıllı sözleşme tabanlı model ile, birbirine güvenmeyen kullanıcıların, güvenilir bir üçüncü tarafa ihtiyaç duymadan daha fazla yenilikçi hizmetler sağlayabilecek, değişmez ve şeffaf veriler üzerinde pazarlık yapmasına olanak tanımaktadır. Model teknolojinin uygunluğu, teknik özellikleri, teknolojinin benimsenmesi ve yayılması yönlerinde değerlendirilmiştir. Tüm bunları hesaba katarak, önerilen modelin sadece V2X ve akıllı ulaşım ekosistemlerinin gelişimini destekleme potansiyeline sahip olmadığını, aynı zamanda yüksek heterojenliğe ve hareketliliğe sahip diğer çeşitli akıllı ortamlar için de uygulanabilir olduğunu belirtmek mümkündür.

Anahtar Kelimeler: Blockchain; İletişim; Heterojenlik; Hareketlilik; Akıllı Ulaşım; Teknolojinin Benimsenmesi.

* Corresponding Author: busraozdenizci@gtu.edu.tr

1. Introduction

IoT (Internet of Things) can be described as a network of smart devices those have embedded technologies such as sensors and actuators in order to sense and collect data, communicate with each other, integrate and exchange data, and therewithal be remotely accessible over Internet (Atzori et al., 2010; Al-Fuqaha et al., 2015). IoT refashions telecommunication paradigm through providing connection between the physical world and machine-based systems, and also allows people to integrate with value adding technologies and processes. With the help of various enabling wireless and wired technologies, significant number of physical objects are connected to the Internet and plays a remarkable role in various application areas with innovative solutions including -but not limited to- smart home, smart infrastructure, energy management, transportation, supply chain management, logistics, healthcare, social applications and many others (Gubbi et al., 2013; Lee and Lee, 2015). Billions of heterogeneous, distributed, and intelligent devices connected to the Internet will proceed to provide new service opportunities and generate valuable smart environments -like homes, buildings, companies, schools, and many other establishments- with the purpose of monitoring and control, data analytics, and information sharing with collaboration (Whitmore et al., 2015; Li et al., 2015).

Today, IoT revolution is making a deep impact on automotive and transportation industry. Both researchers and practitioners are investigating on how to revolutionize transportation services; how to establish intelligent transport systems without much need of human intervention; and how to advance V2X (Vehicle-to-Everything) communication models. V2X is a novel paradigm which stands for interconnected vehicles, pedestrians, and infrastructures that collects and exchanges real time information about the environment via wireless communication technologies (Chen et al., 2017). GSMA (GSM Association) highlights that connected car market -as a main component of V2X paradigm- is one of the highest growth areas of the IoT, with a potential application revenue (GSMA, 2019). Recent cellular technologies provide valuable features for the advancement of V2X which are high speed, low latency and wide area connectivity. With the intensive usage of 4G-5G technologies, V2X started to gain great importance including a set of technologies that allow vehicles to communicate with each other and also with other smart transportation solutions (GSMA, 2020).

In order to achieve full coverage, mobility, availability, and continuity of various smart transportation services, V2X systems including connected cars are utilizing innovative hardware and software technological developments. GSMA -as one of the important organization in this context- is currently working with Mobile Network Operators (MNO), automotive Original Equipment Manufacturers (OEMs), suppliers, industry associations, and regulatory bodies to accelerate the growth of the connected car and also V2X market by agreeing a common approach to security and infrastructure solutions (GSMA, 2020). One of the recent popular advancement is the use of secure smart car kit including a UICC (Universal Integrated Circuit Card) based secure element (SE) or SIM card based SE infrastructure to enable Over the Air (OTA) connection via cellular network (Turkcell, 2020). In that specific example, smart car kit provided by a MNO is attached on a vehicle. It allows to create a secure connection with the vehicle, aggregates various sensor data (i.e.,

IoT data) on vehicle, and transfer data to third parties with the aim of providing value-added services and more pleasant, safe driving conditions. Vehicle's status can be tracked and monitored, which provides safety alerts -such as increase in engine temperature or low battery voltage of the car- and special value-added services like emergency, first aid, health, fire and so on. Another advancement, being embedded LTE (Long Term Evolution) solutions, are considered as next generation opportunity for V2X industry (Gemalto, 2020). A virtual embedded SIM card, namely eSIM, could be soldered in a device and then programmed to remotely connect the device to a chosen network carrier. eSIMs enable remote subscription management over the air to vehicles with an MNO of user's choice. With the support of high-speed and low latency connectivity, eSIM technology on vehicles can provide advanced driving experiences for both drivers and passengers (Gemalto, 2020). Examples for these experiences are real-time navigation, telematics, insurance services, breakdown services, emergency functions, remote diagnostics, secure ID-based ignition, integrated NFC (Near Field Communication) and mobile wallet applications.

All these technological developments enable the collection and exchange of vast amount of user data. On the other hand, this expanding vision brings some challenging issues that should be handled in the context of smart transportation. Stakeholders of transportation ecosystem (e.g., police agencies, medical agencies, repair and maintenance companies, insurance companies, rental companies etc.) generally prefer to use their own proprietary data management platforms. Data sharing among diverse platforms can create inconsistencies and even repudiation problems. For instance, in case of a traffic accident, accurate data collection -such as vehicle speed, engine temperature, seat belt usage state, and timestamp information- from sensors of a connected car would be beneficial for all stakeholders. The integrity of such data is critical to provide proper emergency services as well as insurance services accurately and timely. In a possible accident, it is important that the driver could not deny the fact of over speed driving or hide any improper crucial activity caused by herself. Furthermore, in context of IoT environments, monitoring activities of the user such as location or driving behavior brings security and privacy issues. Unauthorized, malicious third party activities may try to intercept and utilize sensitive user data as well (SIM Alliance, 2017). Data manipulation, information loss, inconsistencies, and spoofing are serious problems in the environments of increasing automated mobility and heterogeneity. Therefore, establishment of a sustainable communication opportunity is highly required for smart transportation ecosystem; where all stakeholders trust each other, all stakeholders are authenticated on a private network and where all authorized stakeholders benefit from each other's sensitive data to provide value-added services.

This study aims to present a comprehensive communication model for smart transportation ecosystem having high heterogeneity and mobility. The model ensures particularly data integrity, non-repudiation and trust among the stakeholders by utilizing Blockchain as a promising technology. In research context, Blockchain technology has a significant opportunity for allowing trustless users to negotiate on inconvertible data -without the need for a trusted third party- and making it possible to record events -or facts- in a way that cannot be rewinded. The proposed Blockchain based model offers value-added services for the development of sustainable intelligent transportation ecosystem.

The structure of the paper is as follows: Section 2 presents the research background including challenging issues of smart environments, essentials of Blockchain technology, and use of Blockchain in smart transportation. Section 3 presents our proposal as the Blockchain based business model with system design considerations and business model examples -particularly car rental and car accident cases based usage scenarios- in order to embody the proposed model. Section 4 evaluates and discusses the proposed Blockchain based communication model in aspects of appropriateness of Blockchain technology for smart transportation; technical features and considerations; adoption and diffusion of innovation. Finally, Section 5 concludes and presents future research directions.

2. Material and Method

In this section we present recent challenging issues of smart environments, related work on Blockchain technology with its technical infrastructure, and use of Blockchain technology in smart transportation environment.

2.1. Heterogeneity and Mobility

IoT is the concept of connected things and people in order to sense, collect, and share data about the way they are used and about the environment around them (Ashton, 2009; Clark, 2016). IoT expands the concept of machine to machine (M2M) communication to intelligent communication which can be conducted between human and machine as well as between machine and machine. IoT systems are able to connect billions of heterogeneous devices and create smart environments with various applications that touches almost every daily life activity.

Smart environments are also facing some challenges (Hameed et al., 2019; Silva et al., 2018; Zhang et al., 2014; Singh et al., 2014) which need full attention from researchers and practitioners. One considerable issue is that smart environment allows to interconnect billions or even trillions of heterogeneous objects through the Internet (Elkhodr et al., 2016; Jabbar et al., 2017). Heterogeneity and large-scale networks are critical factors that distinguish the security of IoT from the security issues of traditional networks. Interoperability of all different devices and platforms is essential for enabling security and guaranteeing trust over the network (Atzori et al., 2010). At the same time, these heterogeneous devices generate and transfer massive volume of data in almost all IoT systems; smart home, smart transportation, smart city, connected cars, smart health. During this exchange, secure storage of data, protection of sensitive user behaviour and interaction data, and also powerful processing is required. In fact, the study of Zhang et al. (2014) identifies some valuable requirements for the security of smart environments and IoT systems. These are object identification, authentication and authorization, privacy, lightweight cryptosystems and security protocols, software vulnerability and malware.

As mentioned, smart transportation and V2X systems including connected cars are gaining great attention from practitioners. Smart transportation environments will enhance with the integration of cellular communication; especially with the 4G-5G technologies (Lee et al., 2017). It is clear that the

technologies like eSIM, virtual SIMs technologies will have deep impact on connected car evolution and continue to be paved the way for new opportunities and value added transportation services. In addition to high heterogeneity and scalability concerns, high mobility of things in smart transportation environment requires more secure and efficient data exchange between various entities, protection of sensitive data, data integrity, non-repudiation and authenticity (Lei et al., 2017; Gemalto, 2020).

2.2. Essentials of Blockchain Technology

Blockchain technology comes to scene after the introduction of Bitcoin cryptocurrency by Satoshi Nakamoto –which is a nickname- in 2008 (Nakamoto, 2008). Blockchain provides decentralized data storage network with a tamper-resistant shared ledger including chained blocks in distributed networks (Casino et al., 2019; Shin, 2019; Wang et al., 2019); which can record and secure transactions using cryptography between two or more parties efficiently and in a verifiable and permanent way (Zheng et al., 2017). It allows trustless users agree on an immutable and irreversible data without the need of a trusted third party as a referee. These key features enable Blockchain technology receive extensive attention from various fields such as finance, health, government and public sector.

Figure 1 illustrates a sample Blockchain template (Zheng et al., 2018; Fernández-Caramés and Fraga-Lamas, 2018; Panarello et al., 2018). Blockchain is a list of blocks linked together using -mainly- cryptographic hash functions. Each block contains hash of its previous block that allows users to agree on undeniable and immutable data. The first block in the chain is named as Genesis Block. A block consists of a block header and a block body. In addition to hash value of parent (next) block, the block header has other fields such as block version, timestamp, nonce etc. The block body has also a counter indicating the number of transactions generated so far. Each one of these blocks can be described as a container that holds information related to specific transactions, such as the financial transactions. As new transactions are created, the list keeps growing subsequently. Transactions are created by entities (called as nodes) within the network. Once a transaction is created by a node, the transaction is broadcasted by that node to all other nodes. The transaction is validated by miner nodes in the network before being accepted by other nodes and thereafter being added to the chain.

Blockchain technology integrates several core technologies such as cryptographic hash, digital signature, and distributed consensus mechanism (Zheng et al., 2018; Fernández-Caramés and Fraga-Lamas, 2018). Consensus algorithm is the most significant component of Blockchain in order to reach an agreement between untrustworthy nodes which is considered as the transformation of Byzantine Generals (BG) Problem (Zheng et al., 2018). PoW (Proof-of-Work) is the original consensus algorithm and the most commonly used algorithm in order to confirm transactions and create new blocks on the chain. Bitcoin and Ether are the two most famous cryptocurrencies using PoW. The algorithm used over the network ensure that shared ledger in different nodes are consistent with each other (Zheng et al., 2018; Fernández-Caramés and Fraga-Lamas, 2018).

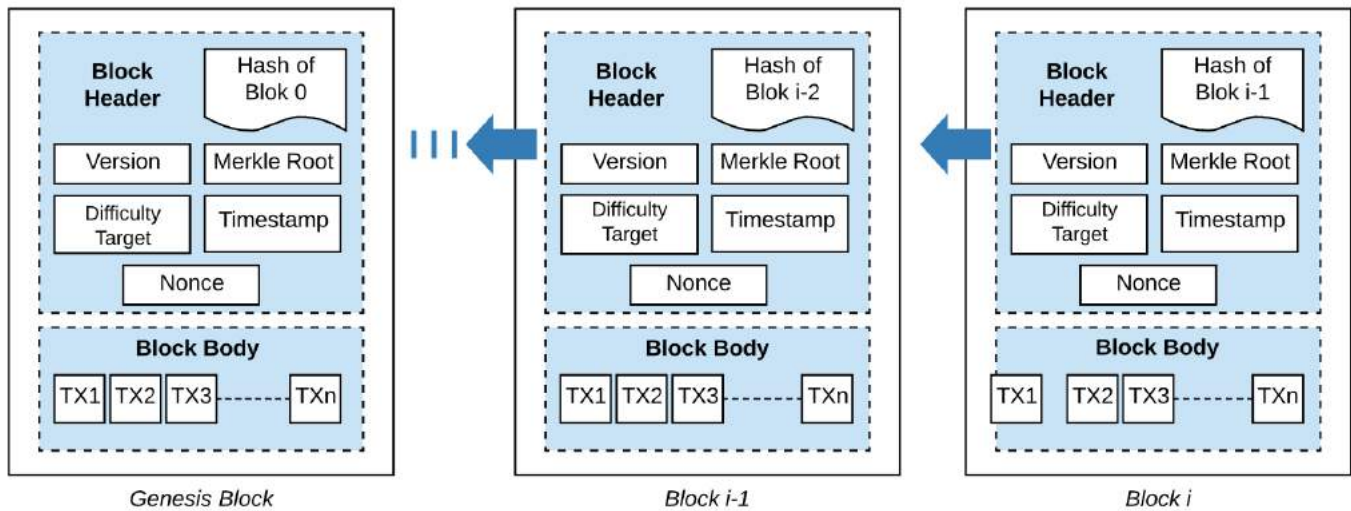


Figure 1. Blockchain Structure (Panarello et al., 2018; Zheng et al., 2018)

Another essential component of Blockchain is smart contract which is defined as a crypto economically secured execution of code (Wang et al., 2019); a code fragment is executed by the miners automatically (Zheng et al., 2017); a self-operating computer program (Nguyen et al., 2019). Without intervention of any third parties, smart contract self-executes the contractual statements and defined rules as codes independently on every node in the Blockchain network. Several projects such as Ethereum and Bitcoin implemented smart contract. Since all actions are recorded and verified in the decentralized ledger of Blockchain, smart contract provides real-time auditing services and also undeniable transactions (Macrinici et al., 2018; Wang et al., 2019; Nguyen et al., 2019). In terms of IoT, use of smart contracts helps to translate various and assets into virtual identities in Blockchain, and allows them to interact with other assets automatically with defined rules in trackable, auditable and undeniable manner.

Blockchain networks can be classified into three categories; public, consortium, and private Blockchains (Zheng et al., 2018). In public Blockchain -such as Bitcoin-, anyone can join the network and all records are visible to the public. Most Blockchain platforms are public systems; Bitcoin and Ethereum are two most famous public Blockchain examples. In private Blockchain though, write permissions are kept centralized to one organization; whereas read permissions can be public or restricted to a specific level. In consortium Blockchain, only a pre-defined set of nodes are allowed to join the network. Hyperledger is a popular consortium platform that is mostly used in developing business Blockchain frameworks; Ethereum is yet another example. In case of private Blockchain systems, there are also various companies implementing private networks for efficiency and auditability (Zheng et al., 2018; Fernández-Caramés and Fraga-Lamas, 2018).

2.3. Blockchain in Smart Transportation

Blockchain is a revolutionary distributed ledger technology which provides decentralized and transparent data management in an auditable, immutable and irreversible manner based on consensus among different parties. Blockchain is used or being though as a solution in various fields of IoT (Kshetri, 2017) - such as government, energy, financial transaction, transportation, fleet monitoring and management, smart cities, healthcare, farming, defense and public safety, logistics and more- with the aim of secure IoT data transfer and storage (Panarello et al., e-ISSN: 2148-2683

2018), data exchange with access control policies among connected things as cars (Alsadi et al., 2019a; Alsadi et al., 2019b), identity management and authentication (Shafagh et al., 2017; Pinno et al., 2017; Nuss et al., 2018; Hammi et al., 2018), monitoring IoT assets (Ouaddah et al., 2016), time stamping and similar high security related services to enhance trust between IoT entities (Fernández-Caramés and Fraga-Lamas, 2018).

Currently, the potential of Blockchain technology is an emerging research area for transportation ecosystems (Yuan and Wang, 2016; Leiding et al., 2016; Lei et al., 2017; Alsadi et al., 2019b). Lei et al. (2017) highlights the challenging issues of heterogeneity of wireless network and emphasizes on the necessity of timely delivery of cryptographic materials in Vehicular Communication Systems (VCS) in order to provide safer and intelligent transportation environment including entities of vehicles, infrastructures and roads. The study presents an optimized Blockchain based model on “dynamic key management” for intelligent transportation systems in order to handle challenges of high mobility, large volume, and frequent handoffs of vehicular nodes in intelligent transportation systems. The study compares the performance of proposed Blockchain based key management model with traditional network models; results with performance optimization in secure key transfer; shortens the key transfer time among mobile nodes.

Another study by Yuan and Wang (2016) highlights that Blockchain can be utilized to establish a secured and decentralized autonomous intelligent transportation systems (ITS) ecosystem. A seven layer conceptual model for blockchain is proposed and a preliminary study on the potential of Blockchain in transportation research is conducted. The study of Singh and Kim (2017) proposes an intelligent vehicle data sharing framework between vehicles without interfering or disturbing other intelligent vehicles by using Blockchain technology. Vehicles are connected with Blockchain and store a unique crypto number. During communication, this crypto number is attached to message format and then message is transmitted to build trust and reliable peer-to-peer data sharing among intelligent vehicles.

In terms of business model perspective, the study of Leiding et al. (2016) proposes a preliminary model of self-managed, Ethereum Blockchain based vehicular ad-hoc network (VANET). The presented concept aims to provide transparent and self-regulating smart contracts based system without a

central managing authority; and proposes use of some applications - traffic regulation, vehicle tax, vehicle insurance, traffic jams and weather forecasts notification- with the help of self-managed VANET. Another relevant business model study, Li et al. (2018) implements Blockchain technology on transportation insurance use case through a prototype in order to establish a trustable ecosystem among drivers, transport operators and insurance companies. Data about drivers and vehicle usage -which are extracted from IoT data that are collected from car sensors- are saved on an immutable, traceable, transparent distributed ledger; and with the IoT data analytics module, insurance premium is assessed which promotes fairness among drivers and encourages safer driving style.

Recent studies on use of Blockchain in context of smart transportation generally presents proprietary data management solutions among vehicles in order to handle heterogeneity and mobility issues, or to support a specific business domain of applications. A comprehensive Blockchain based framework for smart transportation ecosystem is highly required that handles aforementioned problems with a wider interaction model among various stakeholders. This study aims to fill this gap by presenting a trustworthy Blockchain based communication model, and ensuring data integrity and non-repudiation.

3. Proposed Model

The proposed communication model benefits from Blockchain technology with 'self-regulating smart contracts' to handle issues of data manipulation, missing information, inconsistencies, repudiation, and consensus problems among stakeholders in the context of automated mobility and heterogeneity. With the Blockchain utilization in smart transportation ecosystem, the following contributions are provided and presented in this study:

- A communication design over Blockchain network is introduced for establishing trust among various entities in smart transportation ecosystem,
- A smart contract based communication on an Ethereum Blockchain platform is designed and two business scenarios are implemented with a preliminary prototype,
- Evaluation of proposed model is performed in terms of appropriateness of Blockchain in this context, technical features, and diffusion of innovation; further design science issues and improvements are also assessed for transportation ecosystem.

3.1. Design Considerations

A typical transportation environment includes various stakeholders -drivers, insurance companies, medical agencies, police agencies, rental companies, repair companies and more- who are dealing with several interrelated effort-based tasks and operations. Today, connected cars are also considered as a significant stakeholder with the advances in intelligent transportation systems. In addition to effort-based services of human actors, with the support of innovative embedded hardware or software technologies on cars, various sensitive sensor data (such as accident notification, safety belt usage state, speed value, location, driver behavior and more) can be

automatically produced. This collected valuable data can be used for supporting effort-based services of all stakeholders and providing new transportation services.

Efficient and secure communication among all stakeholders can promote value added services -such as emergency, maintenance, and insurance services- and can enrich the capabilities of governmental organizations and citizens. To ensure efficient and secure data sharing, the proposed model benefits from Blockchain network infrastructure where each stakeholder becomes a node that can provide various data in the form of transactions into the Blockchain network as shown in Figure 2.

The transactions generated by the nodes are stored on the Blockchain network in a distributed and shared manner. Various kinds of interrelated transactions regarding nodes' requirements can be generated on the network. In order to embody, some examples of the nodes (i.e., stakeholders) with potential usage areas are emphasized as follows:

- Node of Drivers represents the registered users of cars; personal information and identity details of drivers should be transferred and stored on the Blockchain network.
- Node of Smart Cars represents the connected cars which have necessary embedded technologies and capabilities that provide sensitive sensor data -such as OBD (on-board diagnostics) data, GPS (location) data, start and end time of trip, collision data, maximum speed during the trip, safety belt usage, and similar data- to the Blockchain network.
- Node of Insurance Companies provides data about the insured vehicles and their policy details to the Blockchain network for the use of other nodes (i.e., entities like police, medical etc.) in case of emergency or maintenance conditions.
- Node of Repair (Maintenance) Companies transfers required data in case of supporting an accident situation (e.g., operations of a tow truck for the related car, examination of the car), or in case of a troubleshooting or technical problem of the smart car. This actor transfers data about the solution related to vehicle problem to the Blockchain network. Similarly, other actors (e.g., an insurance company) may monitor the securely stored data on Blockchain network.
- Other entities (such as police departments, medical agencies, gas station firms, rental companies) can also join the proposed model as a node. In this case they can generate critical data about transportation environment. For example, a rental company or a policeman may monitor the securely stored data on Blockchain network in case of emergency condition. Authorized and registered nodes are able to make use of validated and approved secure data by all entities on Blockchain network in order to promote safer and efficient transportation and value added services.

A consortium type of Ethereum Blockchain (<https://ethereum.org>) network infrastructure among stakeholders is proposed for system design and implementation which is suitable for establishing the corresponding smart transportation environment. It allows for authorized entities to participate in the consensus process, but network ownership belongs to multiple entities instead of a centralized authority.

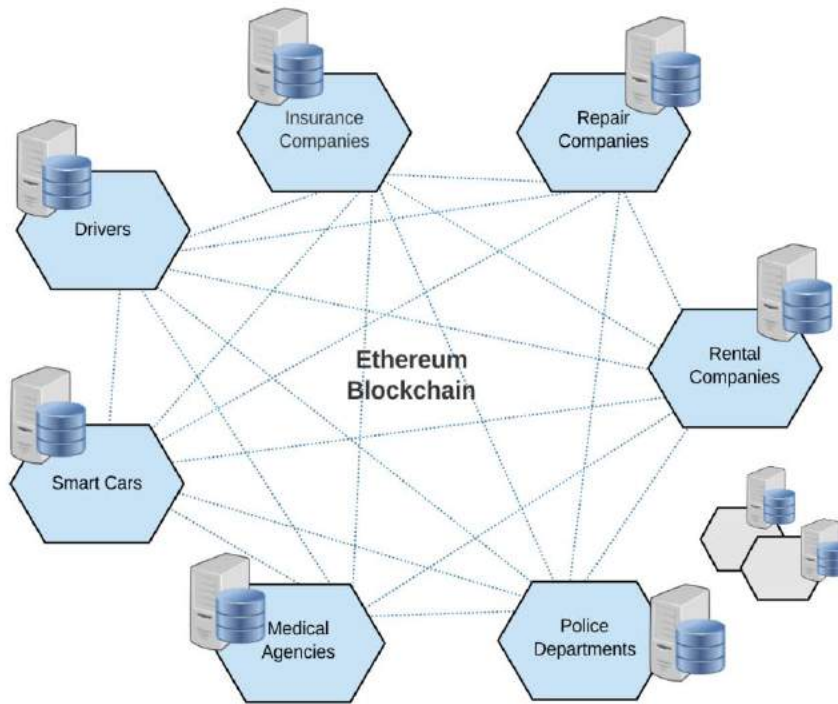


Figure 2. Adopting Blockchain into Smart Transportation Ecosystem

In order to realize preliminary functionality of the proposed model, Ganache-Truffle (<https://www.trufflesuite.com/ganache>) framework is used to provide an in-memory Ethereum node (which means that records will be deleted once Ganache platform is closed) as shown in Figure 3. Ganache framework allows to develop Ethereum Blockchain networks for deploying smart contracts with advanced mining controls, run tests, execution commands, and other actions on the chain without any cost. Ganache framework is widely used by developers during testing smart contracts, request processing scenarios, and monitoring the changes on Blockchain. The interface allows to reach the details about not only nodes, but also the blocks and transactions. All data is stored on a local database server used by each node during system implementation.

In order to interact on Ethereum Blockchain network, each user needs to register to the system by creating an account in related node (e.g., driver, car, insurance company, policy agency etc.). After registration, a unique address for each account is created to allow data sharing within the network layer; and also a private key and a public key pair is created for each account in the node. Every transaction made by nodes is transferred to the network with the use of web3js (i.e., a JavaScript library). All securely stored data on the Blockchain network is also displayed in the same manner. The validity of a new transaction is determined and confirmed by miner nodes. PoW (Proof of Work) algorithm is used by miner nodes to verify signed transactions to achieve a secure, tamper-resistant consensus among all stakeholders.

As self-executing codes with various functions and predefined rules, smart contracts are developed to realize value added transportation services such as report accident, rent car, driving behavior record, car insurance status detection and more. The code including contractual statement is distributed on Ethereum Blockchain network which manages data exchange, requests and consensus among transportation stakeholders. Functions in the smart contract are triggered by a new

transaction that is sent from an account. Smart contracts of some scenarios are developed by Solidity programming language on Truffle (<https://www.trufflesuite.com/ganache>) platform in proposed system. Truffle represents the developer environment that allows to build applications, manage smart contracts, and perform necessary configurations, and also allows efficient deployment and testing.

The application layer of proposed model represents cars, users, insurance companies, automotive repair services and all other actors of the system. The actors can communicate with the Blockchain network using smart contracts by a web-based application –called as distributed application (DApp). The developed DApp includes two parts: front-end as web client application, and back-end as server application which includes smart contracts that runs on Blockchain network. In the proposed system design, HTML5 and JavaScript language are used for developing the front-end application; and lite-server (lightweight development web server) is used for the back-end application. In order to access Ethereum Blockchain network, network settings (including network name, host name, port number and other details) as shown in Figure 3 are firstly defined in DApp. Actors can initiate data sharing (uploading or requesting) operations via DApp and accomplish operations with the help of self-regulating smart contracts on distributed ledger.

3.2. Use Cases

The proposed model is considered through business case examples including secure data uploading and transfer over Blockchain network. In order to explain easy-to-understand usage of proposed model for smart transportation environment, Rent Car Report Accident scenarios are used. Both scenarios are presented here to clarify the usage of the proposed model for smart transportation environment. Both cases highlight the necessity of efficient consensus among entities and also the necessity of transparent communication for providing valuable further services.

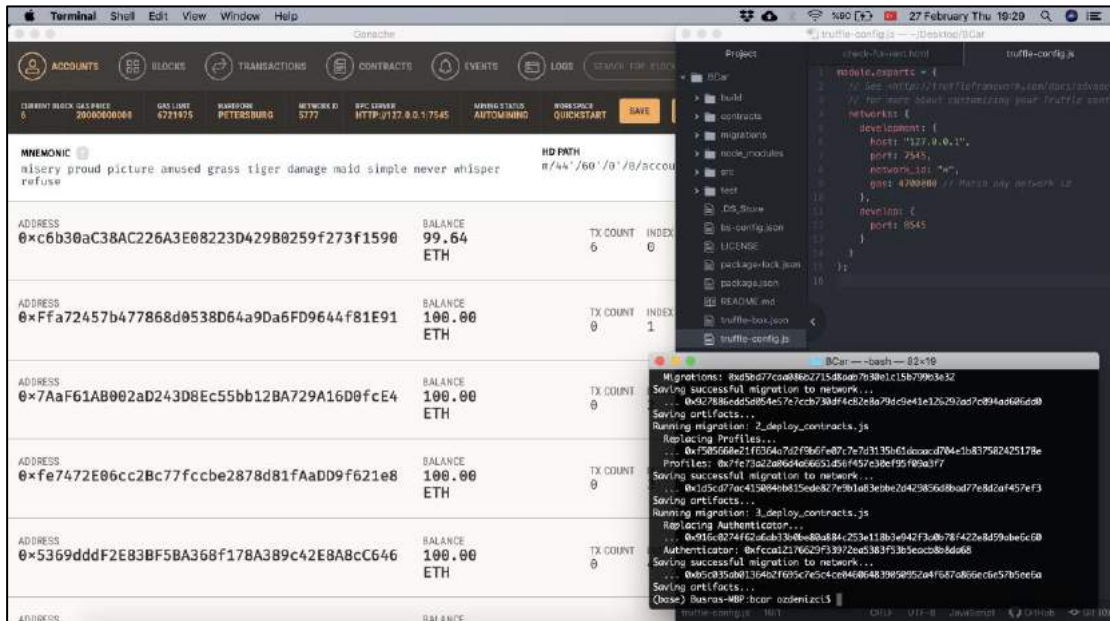


Figure 3. Ethereum Blockchain with Ganache framework on localhost.

We will now dive into Rent Car scenario in this section. The preliminary code script on smart contract that is designed for rent car operation as well as some functions with events are presented in Code Section 1. The general flow of scenario is described by a flow diagram in Figure 4a:

- (1) A rental company (i.e., registered user in rental companies node) wants to prepare a rent car operation for a previously registered customer (i.e., registered user in drivers node) on the system. For this purpose, Rental company may access the web application of Blockchain network and prepare the details of rent car operation as a transaction on chain.
- (2) The transaction is created in accordance with the functions defined in smart contract and signed with the private key of the user (i.e., rental company) for ensuring non-repudiation security requirement.
- (3) The signed transaction is firstly sent to miner nodes on Blockchain via web3js JavaScript library for verification and confirmation. Consensus mechanism by PoW algorithm is applied over network –as explained previously.
- (4) Verified -rent car agreement- transaction by miner nodes is appended to the chain and also is shared with other actors; policemen, rental companies, insurance companies and so on.
- (5) Other entities can view and access the stored data by making requests and view reports. For example, a policy agency can request lists and some information of the currently rented cars; a rental company can request previous accident history of a customer (driver); or request GPS, speed and other similar sensor data coming from a currently rented smart car. When the driver checks-in the car, the same communication and process flow is performed by the corresponding rental company over web based distributed application.

Another valuable business scenario is about reporting an accident condition where smart cars can also play significant role. The general flow of scenario is given by a flow diagram in Figure 4b:

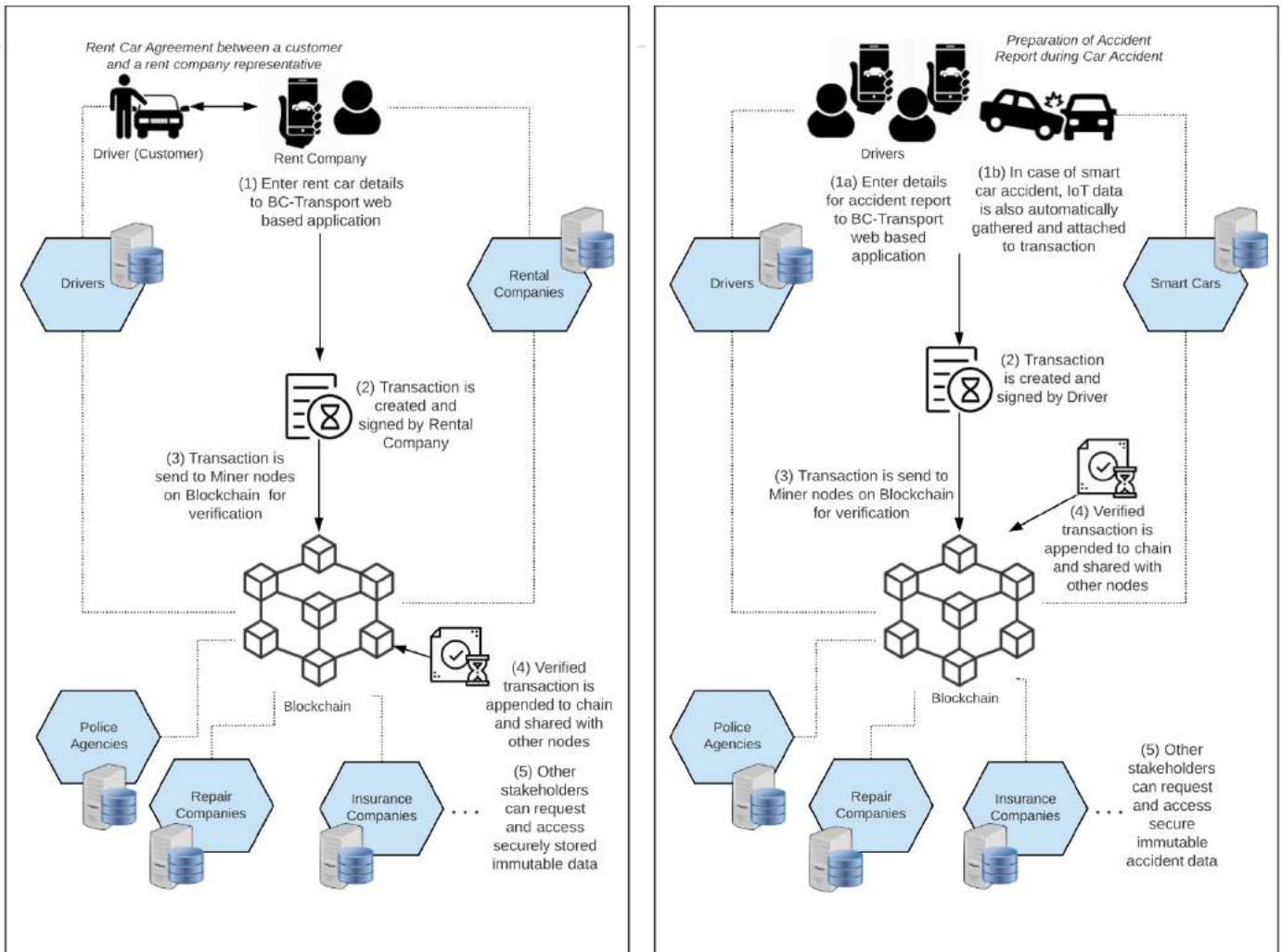
- (1) Let's assume that a registered driver of the consortium network urgently needs to prepare an accident report, of course a secure and immutable one. The user (aka driver) may access the web based distributed application of Blockchain network to prepare the details of accident report -such as car ID; accident date and time; accident location; description; intervention of police, ambulance or tow track-on chain. In case of a smart car accident, sensors with smart kit gateway technology can provide additional real-time data such as speed, life belt usage, engine heat record and more; all of such sensor data can be attached to the accident report to be used for further value added services such as insurance handling operations.
- (2) The transaction is created in accordance with the functions in smart contract and signed with the private key of the driver for ensuring non-repudiation.
- (3) The signed transaction is sent to miner nodes on Blockchain via web3js, JavaScript library, for verification and confirmation through Blockchain's consensus mechanism.
- (4) Verified -accident report- transaction is appended to the chain and concurrently shared with other nodes.
- (5) Other entities can view the accident data by making transaction requests and also can get reports about the accident details. These authorized entities can also get reports about accidents those occurred in some period; accidents those will be charged to the insurance companies or to the individuals; accidents those required policeman, ambulance, and / or tow track attention; accidents that a specific car got involved; location, speed, and / or life belt usage information of currently rented cars etc. Notice that a rental company may query only its own cars, whilst policemen may query all. In case of an emergency situation, the triggered entities (police, medical, automotive service company) can make necessary interventions and assistance which also needs to be uploaded to the Blockchain network in the same manner over web based DApp.

```

5  contract CarProfile is Ownable {
6
7  struct AuthTokens {
8      address add;
9      bytes32 hashedToken;
10 }
11 mapping(address => AuthTokens) tokenStructs;
12 struct Access {
13     address accessOwner;
14     uint v;
15     uint ttl;
16 }
17 struct Car {
18     string vin;
19     string manufacturer;
20     string location;
21     address carOwner;
22     address renter;
23     uint256 rentPrice;
24     address[] accessList;
25     mapping(address => Access) accessStructs;
26 }
27 mapping(string => Car) carStructs;
28 string[] carList;
29
30 // events
31 event newCarEvent(bool result, address creator, string vin);
32 event addAccessToCarEvent(bool result, address creator, string vin, address user);
33 event addAccessTokenEvent(bytes32 token);
34 event rentCarEvent(bool result, address user, string vin);
35
36 function newCar(string _vin, string _manufacturer, string _location, uint256 _price) public
37     returns (bool success)
38     {
39         carStructs[_vin].vin = _vin;
40         carStructs[_vin].manufacturer = _manufacturer;
41         carStructs[_vin].location = _location;
42         carStructs[_vin].carOwner = msg.sender;
43         carStructs[_vin].renter = 0x0;
44         carStructs[_vin].rentPrice = _price;
45         carList.push(_vin);
46         newCarEvent(true, msg.sender, _vin);
47         return true;
48     }
49
50 function getCar(string _vin) public view
51     returns(string vin, string manufacturer, string location, address _owner, address _renter, uint256 _price, uint accessCount)
52     {
53         return(carStructs[_vin].vin, carStructs[_vin].manufacturer, carStructs[_vin].location, carStructs[_vin].carOwner,
54             carStructs[_vin].renter, carStructs[_vin].rentPrice, carStructs[_vin].accessList.length);
55     }
56
57 function addAccess(string _vin, address _user, uint _v, uint _ttl) public
58     returns(bool success)
59     {
60         carStructs[_vin].accessList.push(_user);
61         carStructs[_vin].accessStructs[_user].v = _v;
62         carStructs[_vin].accessStructs[_user].ttl = _ttl;
63         addAccessToCarEvent(true, msg.sender, _vin, _user);
64         return true;
65     }
66

```

Code Section 1. A smart contract script for car profile and rent car data uploading.



(a) Rent Car Scenario

(b) Report Accident Scenario

Figure 4. Scenarios for Smart Transportation

4. Evaluation of Model

The proposed Blockchain based model provides opportunities for the development smart transportation ecosystem and also for the management of problems arising from high heterogeneity and high mobility. The model demonstrates how self-regulating smart contracts on Blockchain can enhance the communication in transportation ecosystem, and also how business models can improve trust among entities with immutable data entries. Hereby, this section evaluates and discusses proposed model through three perspectives: appropriateness, technical features, and adoption and diffusion.

4.1. Appropriateness of Proposed Model for Transportation Ecosystem

The study introduced by World Economic Forum (Mulligan et al., 2018) provides a well-defined decision tree for initial assessment of whether Blockchain is an appropriate solution for a defined problem and identifies essential common characteristics and goals of Blockchain use cases. In the light of the aforementioned framework (Mulligan et al., 2018), the proposed communication model has the common goals that demonstrates appropriateness of Blockchain technology for

various interrelated operations of stakeholders in smart transportation environment. The general features of the proposed model are evaluated hereunder:

Permanent digital assets: As the popularity of information technology is hyped, cost per storage media lowered, and proper security measures are provided; handling the data that has effects on legal issues switched from physical to digital media harmoniously. With the digital transformation of governments and public services, immutable and irrefutable digital assets are fostered instead of using physical assets over the world. In the context of smart transportation, the proposed Blockchain based communication model has an opportunity for developing permanent records and unalterable transactions of driving license reports, driver's history report, accident reports, insurance claims, rental contracts (agreements), repair and maintenance contracts, and many other. Critical information can be digitally stored and exchanged among nodes of Blockchain with appropriate consensus mechanism; in turn which allows to develop valuable reports, achieve operational excellence and trustworthy environment.

Shared repository by multiple entities: As mentioned, transportation or traffic ecosystem is a broad environment that encloses various operations that are governed and realized by

various stakeholders. Existence of interdependencies between operations is highly seen in transportation ecosystem; for example, in an accident case scenario where police, insurance companies, medical agencies and many other entities need to create critical information about corresponding accident, request information about driver and car details, and so on. The proposed communication environment allows not only to create interaction and dependency between transactions by different entities; but also to generate transactions for the shared repository by multiple entities.

Improved trust: Usage of physical assets and weaknesses in integration of different platforms used by different actors (nodes) may result in occurrence of undesired events; such as inconsistencies, loss of data, illegal data modifications, illegal data alterations, even fraud or corruptions that many countries are suffering today. The potential capabilities of proposed model can foster an efficient agreement environment among transportation stakeholders. With the model, the stakeholders can have full control over the digitally stored immutable assets as well as the previous records. Registered end-users (drivers, rental companies, police agencies, insurance companies etc.) can produce, access, request and view irrefutable and transparent proof of transactions with high level of confidence.

Elimination of intermediaries: Another significant aim of the proposed model is to remove intermediaries between the end-users of transportation ecosystem, and allow for more lean and transparent communication environment. With the support of consensus mechanism; stakeholders can manage and handle claims, reports and other data about transportation status, which facilitates the digitalization of traffic management systems instead of using a central gatekeeper. Elimination of intermediaries (i.e., third party service providers and their own proprietary data management platforms) will reduce the cost of delivering services and allow for faster resolution of problems and claims, which means operational excellence and productivity.

4.2. Technical Features and Considerations of Proposed Model

Incorporating Blockchain with its core technologies presents valuable technical and security benefits for smart transportation that needs especially data integrity and non-repudiation of entities. In this regard, an evaluation of technical features and further technical improvements of the proposed model are presented hereunder:

Data integrity: Being immutable means that a block cannot be deleted or modified once it has been chained to the network; which guarantees data integrity among stakeholders. In the proposed model, the usage of shared ledger technology by stakeholders of transportation ecosystem -instead of proprietary data management platforms- will eliminate the data inconsistency problems and handles the heterogeneity problems. Sensitive information about drivers and cars will be shared between registered and authorized users without any change in consortium Blockchain. Data manipulation, lack of information, inconsistencies, spoofing, and other similar threats will be prevented via hashing functionality of Blockchain.

Non-repudiation of user: When a user -as a connected node- submits transaction details through a form -which will trigger corresponding function in smart contract-, the transaction is created and signed by user's private key. Blocks are created

through transactions which are sent among nodes of the Blockchain network. For a transaction to be valid, it has to be generated by an authorized node. With the proposed model, repudiation and consensus problems among stakeholders that do not trust each other will be prevented in digitalized transportation ecosystem.

Permissioned-public network: Different from public Blockchain systems, permissioned systems allow only authorized entities to join and benefit from Blockchain network. Consortium and private Blockchain platforms are examples of permissioned systems. In case of private blockchain, the network is owned and administered by a single entity (organization). However, using consortium Blockchain as a permissioned-public platform allows authorized entities to participate in the consensus process; and network ownership belongs to multiple entities, which is suitable for transportation ecosystem requirements. In this sense, consortium platform will be a beneficial setting for the proposed model and transportation ecosystem where multiple entities operate in the same industry as in transportation ecosystem which require a common ground to perform critical transactions and relay valuable information. Consortium network -with consensus procedures controlled by the present nodes- will mitigate the centralized control risks of permissioned and private Blockchain networks by streamlining the communication among entities.

Further improvements: There are also some other important technical issues that can be considered within context of this proposed model. First, the proposed model should definitely provide a scalable and manageable architecture which ensures reliable and robust interconnection between various nodes. There is a need to implement proposed system adapting scalable transportation scenario; while guaranteeing high quality user experience and reliable data sharing. Moreover, the model should allow users to access sensitive transportation data anytime and anywhere through a web based platform; users should interact with the system in a real time and dynamic manner. Optimization of data uploading and processing will allow for efficient transaction communication and low network latency.

Data access control among entities is another significant issue that can be considered when complex and special policies are defined by smart contracts. A flexible and dynamic access control policy -such as tokenization mechanisms- can be applied by smart contracts in order to allow or deny access to sensitive -traffic, driver, sensor or any other similar- data. An efficient access control policy will enhance the operations of smart transportation environment. For example, a driver can determine how the data is to be shared, can set access permissions and access periods to specific entities; and even can change permissions at any given time. In a vehicle malfunction scenario, a driver may need to collaborate only with insurance and repair companies; sensitive data of driver needs to be shared with certain entities instead of insurance companies or repair companies in the network. An access control architecture over proposed model must be able to achieve the user's (e.g., driver's) proof of identity; and must enable users to authorize necessary entities for accessing private data based on the access control policy that user created. In this regard, tokenization models can be a beneficial way of implementing access control policy through smart contracts.

Finally, in order to manage access of end-users to distributed application, a multi-factor authentication (such as one-time-password, personal identifier number, biometrics) mechanism can be integrated. Such an authentication mechanism can provide identity management of end-users. Users can authenticate themselves to the system before using distributed application; after which they can access and use the Blockchain network. For example, even if the credential of a user is compromised, the authentication model will not authenticate any user without entering the correct one-time-password which is recently sent the user's smartphone.

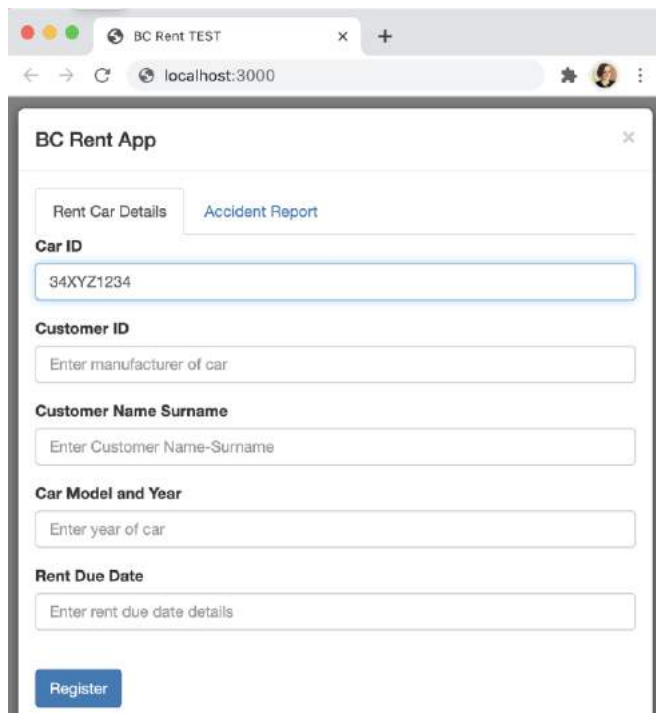
4.3. Adoption and Diffusion of Proposed Model

Besides technical capabilities and features, adoption and diffusion of the proposed model in transportation ecosystems should be considered as well. In this context, Technology Acceptance Model (TAM) (Davis, 1985) and Diffusion of Innovations (DOI) (Rogers, 2010) are essential theories which are being utilized extensively by researchers and practitioners in order to explore a variety of technological innovations adoption. In the light of adoption and diffusion theories, the preliminary implementation of the proposed model is assessed in order to comprehend and explore insights about the behavioral intention of stakeholders to use in a systematic way:

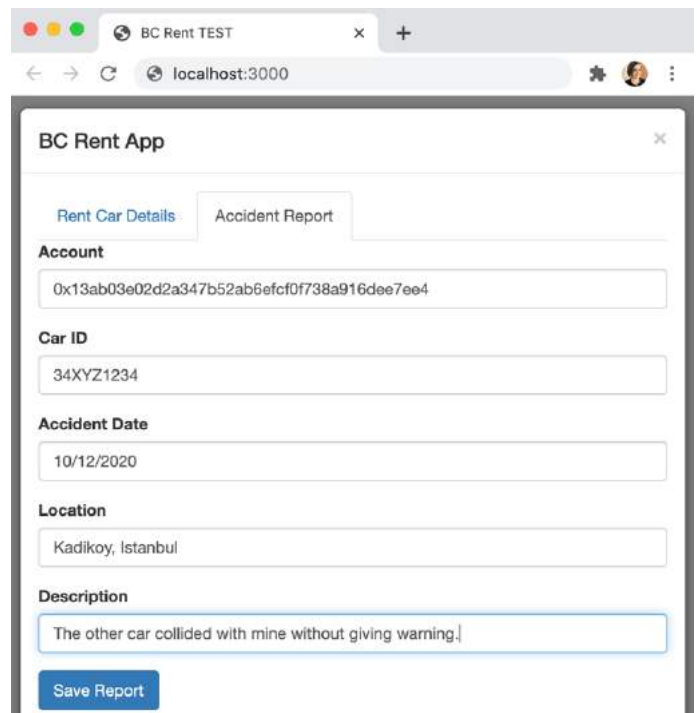
Relative Advantage: The concept of relative advantage is indicated as the value oriented aspect including constructs of perceived usefulness (Davis, 1985; Kamble et al., 2019). In accordance with explained potential characteristics and technical features in previous subsections, the proposed model can be evaluated as useful; since it increases productivity, simplifies underlying process, allows transparent and immutable record, reduces cost, time and user effort, and eliminates intermediaries in transportation ecosystem.

Complexity: As an effort-oriented aspect, complexity is the degree to which an individual is considered and perceived difficult to understand and utilize (Kamble et al., 2019; Yoo et al., 2019), which is the opposite of perceived ease of use. From end-user's perspective, simple user interfaces over web based application -as shown with some form examples from implementation in Figure 5- allow users to access to the proposed Blockchain based network easily, perform data sharing or request on distributed ledger, and exchange data. The designed interface -(i.e., web based application) of the proposed model is simple and straightforward, which also hides many complexities. The interface triggers self-executing programs via smart contracts, eliminates complexities in the foreground, and establishes trust relationship among stakeholders with a complex consensus mechanism in the background.

Compatibility: Compatibility is the degree to which technological innovation is considered as stable, consistent (steady) with user's existing values, needs, and experiences (Davis, 1985; Kamble et al., 2019; Cheung et al., 2000). The proposed model will serve as a common collaboration and communication platform for the stakeholders in order to realize interrelated operations and transactions regarding traffic and transportation services. Common needs of various agencies and drivers will be handled in a less time-consuming manner. After the establishment of the proposed Blockchain based network among government agencies and other entities; users will be able to seamlessly adopt, learn and use new platform. As performed by implementation, users do not require to acquire additional products to benefit from this service; new users can join the developed platform through an online user registration form on DApp easily.



(a) Rental Contract Screen



(b) Accident Report Screen

Figure 5. User Interface Examples of Web Based Application

Observability and Trialability: Recently, Blockchain based implementations have very few observability and trialability opportunities for users. The concept of observability is defined as the degree to which the technology provides detectable, tangible, visible results to adopters, whereas trialability is the ability to test, experience and explore the innovation before adopting usefulness (Davis, 1985; Kamble et al., 2019). Due to restricted scalability in this study, a partial implementation of described business scenarios are conducted in order to comprehend establishment of a Blockchain network and its appropriateness. Within context of the proposed model, development of more advanced smart contracts about further scenarios (such as upload or request of driving license reports, driver's history report, insurance agreements, insurance claims, repair and maintenance contracts) will increase observability of benefits more in transportation environment. Also, with the dissemination of smart cars, it will be possible to make use of sensor data on transactions. Moreover, high fidelity prototypes and advanced smart contracts deployments will improve the observability and trialability metrics and diffusion of innovation.

4. Conclusions and Future Work

This paper explores the potential of Blockchain technology and implements a Blockchain based communication model for smart transportation ecosystem. The main purpose of Blockchain based communication scheme is to overcome challenges and issues of data manipulation, missing information, inconsistencies, repudiation, and consensus problems among transportation stakeholders that do not trust each other in the context of automated mobility, high heterogeneity and V2X paradigm.

In this regard, this study focuses on the design of a trustworthy model that provide valuable interrelated business services with the help of self-regulating smart contracts, efficient consensus mechanism and secure distributed, shared ledger capability. The proposed model's system design considerations, architecture requirements and business model examples within context of smart transportation are explained. A consortium network establishment and a preliminary implementation of some business models with smart contracts are performed to perceive conformity of Blockchain technology for the transportation ecosystem. The study also integrates a comprehensive evaluation of the proposed model for smart transportation.

Permanent and immutable digital asset management, shared repository by multiple stakeholders (e.g., drivers, insurance companies, medical agencies, police agencies, rental companies, repair companies and even connected cars), elimination intermediaries and improved trust are desired goals in smart transportation ecosystem; which also demonstrate appropriateness of Blockchain technology for interrelated operations of stakeholders in smart transportation environment. In terms of technical aspect, the proposed model supports goals of data integrity and non-repudiation of users with permissioned public Blockchain network deploying smart contract based communication. Moreover, in terms of adoption of model as user aspect, the proposed model can be assessed as useful, less complex and compatible with end user's needs depending on interrelated operations in transportation ecosystem. The proposed model provides transparent and immutable record management by Blockchain, simplifies underlying process,

reduces cost, time and user effort, and eliminates intermediaries in transportation ecosystem.

Future research should focus on improving self-executing smart contracts with business scenarios, end-user identity management and access control policy developments on smart contracts, scalability and availability improvements for real-time transaction handling, and lightweight consensus design solutions for high QoS and low network latency for advancement of Blockchain based smart transportation. The further implementations can also increase the observability of benefits and trialability degree of the proposed communication model.

References

- Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE communications surveys & tutorials*, 17(4), 2347-2376.
- Alsadi, M., Gülseçen, S., Kara, S. Köse, B. Ö., & Coşkun, V. (2019a). A Blockchain Based Data Management Model. *Journal of Information Systems and Management Research*, 1(1), 31-36.
- Alsadi, M., Yildirim, S., Gülseçen, S., Köse, B. Ö., & Coşkun, V. (2019b, October). Akıllı Araç Ekosistemlerinde Blockchain Tabanlı Güvenli Veri Yönetim Modeli. In 2019 3rd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT), (pp. 1-5). IEEE.
- Ashton, K. (2009). That 'internet of things' thing. *RFID journal*, 22(7), 97-114.
- Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The internet of things: A survey. *Computer networks*, 54(15), 2787-2805.
- Casino, F., Dasaklis, T. K., & Patsakis, C. (2019). A systematic literature review of blockchain-based applications: current status, classification and open issues. *Telematics and Informatics*, 36, 55-81.
- Chen, S., Hu, J., Shi, Y., Peng, Y., Fang, J., Zhao, R., & Zhao, L. (2017). Vehicle-to-everything (V2X) services supported by LTE-based systems and 5G. *IEEE Communications Standards Magazine*, 1(2), 70-76.
- Cheung, W., Chang, M. K., & Lai, V. S. (2000). Prediction of Internet and World Wide Web usage at work: a test of an extended Triandis model. *Decision support systems*, 30(1), 83-100.
- Davis, F. D. (1985). A technology acceptance model for empirically testing new end-user information systems: Theory and results (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology).
- Elkhodr, M., Shahrestani, S., & Cheung, H. (2016). The internet of things: new interoperability, management and security challenges. *arXiv preprint arXiv:1604.04824*.
- Fernández-Caramés, T. M., & Fraga-Lamas, P. (2018). A Review on the Use of Blockchain for the Internet of Things. *IEEE Access*, 6, 32979-33001.
- Gemalto (2020). Connected Cars. Retrieved from <https://www.gemalto.com/automotive/connect-cars>
- GSMA (2020). IoT, Automotive. Retrieved from <https://www.gsma.com/iot/automotive>
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future generation computer systems*, 29(7), 1645-1660.
- Hameed, S., Khan, F. I., & Hameed, B. (2019). Understanding security requirements and challenges in Internet of Things

- (IoT): A review. *Journal of Computer Networks and Communications*, 2019.
- Hammi, M. T., Hammi, B., Bellot, P., & Serhrouchni, A. (2018). Bubbles of Trust: A decentralized blockchain-based authentication system for IoT. *Computers & Security*, 78, 126-142.
- Jabbar, S., Ullah, F., Khalid, S., Khan, M., & Han, K. (2017). Semantic interoperability in heterogeneous IoT infrastructure for healthcare. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2017.
- Clark, J. (2016). What is Internet of Things?, <https://www.ibm.com/blogs/internet-of-things/what-is-the-iot/>
- Kamble, S., Gunasekaran, A., & Arha, H. (2019). Understanding the Blockchain technology adoption in supply chains-Indian context. *International Journal of Production Research*, 57(7), 2009-2033.
- Kshetri, N. (2017). Can blockchain strengthen the internet of things?. *IT professional*, 19(4), 68-72.
- Lee, I., & Lee, K. (2015). The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. *Business Horizons*, 58(4), 431-440.
- Lee, J. H., & Kim, H. (2017). Security and privacy challenges in the internet of things [security and privacy matters]. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 6(3), 134-136.
- Lei, A., Cruickshank, H., Cao, Y., Asuquo, P., Ogah, C. P. A., & Sun, Z. (2017). Blockchain-based dynamic key management for heterogeneous intelligent transportation systems. *IEEE Internet of Things Journal*, 4(6), 1832-1843.
- Leiding, B., Memarmoshrefi, P., & Hogrefe, D. (2016). Self-managed and blockchain-based vehicular ad-hoc networks. In *Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing: Adjunct* (pp. 137-140).
- Li, S., Da Xu, L., & Zhao, S. (2015). The internet of things: a survey. *Information Systems Frontiers*, 17(2), 243-259.
- Li, Z., Xiao, Z., Xu, Q., Sothiawat, E., Goh, R. S. M., & Liang, X. (2018). Blockchain and IoT Data Analytics for Fine-Grained Transportation Insurance. In *2018 IEEE 24th International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS)* (pp. 1022-1027). IEEE.
- Macrinici, D., Cartoceanu, C., & Gao, S. (2018). Smart contract applications within blockchain technology: A systematic mapping study. *Telematics and Informatics*, 35(8), 2337-2354.
- Mulligan, C., Scott, J. Z., Warren, S., & Rangaswami, J. P. (2018, April). Blockchain beyond the hype: A practical framework for business leaders. In *World Economic Forum, White Paper*.
- Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system.
- Nguyen, D. C., Pathirana, P. N., Ding, M., & Seneviratne, A. (2019). Blockchain for secure EHRs sharing of mobile cloud based e-Health systems. *IEEE access*, 7, 66792-66806.
- Nuss, M., Puchta, A., & Kunz, M. (2018). Towards blockchain-based identity and access management for internet of things in enterprises. In *International Conference on Trust and Privacy in Digital Business* (pp. 167-181). Springer, Cham.
- Ouaddah, A., Abou Elkalam, A., & Ait Ouahman, A. (2016). FairAccess: a new Blockchain-based access control framework for the Internet of Things. *Security and Communication Networks*, 9(18), 5943-5964.
- Panarello, A., Tapas, N., Merlino, G., Longo, F., & Puliafito, A. (2018). Blockchain and IoT integration: A systematic survey. *Sensors*, 18(8), 2575.
- Pinno, O. J. A., Gregio, A. R. A., & De Bona, L. C. (2017). Controlchain: Blockchain as a central enabler for access control authorizations in the iot. In *GLOBECOM 2017-2017 IEEE Global Communications Conference* (pp. 1-6). IEEE.
- Rogers, E. M. (2010). *Diffusion of innovations*. Simon and Schuster.
- Shafagh, H., Burkhalter, L., Hithnawi, A., & Duquennoy, S. (2017). Towards blockchain-based auditable storage and sharing of iot data. In *Proceedings of the 2017 on Cloud Computing Security Workshop* (pp. 45-50).
- Shin, D. D. (2019). Blockchain: The emerging technology of digital trust. *Telematics and Informatics*, 45, 101278.
- Silva, B. N., Khan, M., & Han, K. (2018). Internet of things: A comprehensive review of enabling technologies, architecture, and challenges. *IETE Technical review*, 35(2), 205-220.
- SIM Alliance (2017). eUICC for: Connected cars. https://simalliance.org/wp-content/uploads/2017/10/eUICC-for-Connected-cars_FINAL.pdf
- Singh, D., Tripathi, G., & Jara, A. J. (2014). A survey of Internet-of-Things: Future vision, architecture, challenges and services. In *2014 IEEE world forum on Internet of Things (WF-IoT)* (pp. 287-292). IEEE.
- Singh, M., & Kim, S. (2017). Blockchain based intelligent vehicle data sharing framework. *arXiv preprint arXiv:1708.09721*.
- Turkcell (2020). Kopilot. Retrieved from <https://www.turkcell.com.tr/servisler/kopilot>
- Wang, X., Zha, X., Ni, W., Liu, R. P., Guo, Y. J., Niu, X., & Zheng, K. (2019). Survey on blockchain for Internet of Things. *Computer Communications*, 136, 10-29.
- Whitmore, A., Agarwal, A., & Da Xu, L. (2015). The Internet of Things—A survey of topics and trends. *Information Systems Frontiers*, 17(2), 261-274.
- Yoo, K., Bae, K., Park, E., & Yang, T. (2019). Understanding the diffusion and adoption of Bitcoin transaction services: The integrated approach. *Telematics and Informatics*, 101302.
- Yuan, Y., & Wang, F. Y. (2016). Towards blockchain-based intelligent transportation systems. In *2016 IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)* (pp. 2663-2668). IEEE.
- Zhang, Z. K., Cho, M. C. Y., Wang, C. W., Hsu, C. W., Chen, C. K., & Shieh, S. (2014). IoT security: ongoing challenges and research opportunities. In *2014 IEEE 7th international conference on service-oriented computing and applications* (pp. 230-234). IEEE.
- Zheng, Z., Xie, S., Dai, H. N., Chen, X., & Wang, H. (2018). Blockchain challenges and opportunities: A survey. *International Journal of Web and Grid Services*, 14(4), 352-375.
- Zheng, Z., Xie, S., Dai, H., Chen, X., & Wang, H. (2017). An overview of blockchain technology: Architecture, consensus, and future trends. In *2017 IEEE International Congress on Big Data (BigData Congress)* (pp. 557-564). IEEE.



Synthesis of Benzothiazole Bearing Calixarene as a Chemical Sensor with Triggered Fluorescence Property for Chlorite Ion

Selahattin Bozkurt^{1,2*}, Erkan Halay^{1,3}

^{1*} Uşak Üniversitesi, Bilimsel Analiz ve Teknolojik Uygulama ve Araştırma Merkezi (UBATAM), Uşak, Türkiye

² Uşak Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Uşak, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9147-5938), selahattin.bozkurt@usak.edu.tr

³ Uşak Üniversitesi, Banaz Meslek Yüksekokulu, Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojileri Bölümü, Uşak, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0084-7709), erkan.halay@usak.edu.tr

(First received 9 December 2020 and in final form 26 January 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.838144)

ATIF/REFERENCE: Bozkurt, S. & Halay, E. (2021). Synthesis of Benzothiazole Bearing Calixarene as a Chemical Sensor with Triggered Fluorescence Property for Chlorite Ion. *European Journal of Science and Technology*, (21), 486-492.

Abstract

A fluorescence probe based on calix[4]arene-benzothiazole platform was rationally designed and synthesized for the detection of chlorite ion in aqueous solution. The sensor candidate was characterized by such spectroscopic techniques as FTIR, fluorescence, ¹H- and ¹³C-NMR along with HRMS analysis. During the photophysical characterization experiments, it was observed that the synthesized sensor candidate exhibited weak fluorescence while its chlorite detection created a strong blue fluorescence facilitating sensitive detection. Besides, the related chlorite probe possessed a large Stokes shift (158 nm) with large pseudo Stoke's shift within the value of 242 nm that enables more accurate detection among other tested ions. Considering that chlorite anion is formed from chlorine dioxide as a result of reduction, and the importance of on-site monitoring of the concentration range regulated by many countries, it is obvious that our sensor has presented a convenient detection option as an alternative method to fulfil the daily monitoring requirements.

Keywords: Water treatment, Chlorite detection, Fluorescent probe, Chemical sensor, Disinfection by-product.

Klorit İyonu İçin Tetiklenmiş Floresans Özelliğe Sahip Bir Kimyasal Sensör Olarak Benzotiyazol Grubu Taşıyan Kaliksaren Sentezi

Öz

Klorit anyonunun sulu çözeltilerdeki tespitine yönelik olarak, kaliks[4]aren-benzotiyazol platformuna dayalı bir floresans probu rasyonel bir şekilde tasarlandı ve sentezlendi. Bu sensör adayı, HRMS analizi ile birlikte FTIR, floresans, ¹H- ve ¹³C-NMR gibi çeşitli spektroskopik teknikler aracılığıyla karakterize edildi. Fotofiziksel karakterizasyon deneyleri sırasında, sentezlenen sensör adayının zayıf bir floresans sergilediği, klorit tespiti sonucu ise hassas tespiti kolaylaştıran güçlü bir mavi floresans oluşturduğu görüldü. Bunun yanı sıra, ilgili klorit probu, test edilen diğer iyonlar arasında daha doğru tespiti mümkün kılan büyük bir Stokes kayması (158 nm) ile 242 nm değerinde büyük bir yalancı Stokes kaymasına sahiptir. Klorit anyonunun klor dioksitten indirgeme sonucu oluştuğu ve birçok ülke tarafından düzenlenen klorit iyonu konsantrasyon aralığının yerinde izlenmesinin önemi göz önünde bulundurulduğunda, sensörümüzün günlük izleme gereksinimlerini karşılamak için alternatif bir yöntem olarak uygun bir algılama seçeneği sunduğu apaçık ortadadır.

Anahtar Kelimeler: Su arıtımı, Klorit tespiti, Floresans algılayıcı, Kimyasal sensör, Dezenfeksiyon yan ürünü.

* Corresponding Author: Uşak Üniversitesi, Bilimsel Analiz ve Teknolojik Uygulama ve Araştırma Merkezi (UBATAM), Uşak, Türkiye, ORCID: 0000-0002-9147-5938, selahattin.bozkurt@usak.edu.tr

1. Introduction

The disinfection process of water sources by treatment with chlorine dioxide (ClO_2) has brought a disadvantage along with many advantages [1-4]. The related process has been reviewed and all disinfection by-products (DBPs) have been identified in line with the studies in the literature [5-7]. In this sense, the formation of chlorite ion (ClO_2^-) has been an undesirable situation because of its potential of causing hemolytic anemia and adverse nervous system effects (lowered auditory startle amplitude, decreased exploratory activity) along with decreased absolute brain weight and altered liver weights [8,9]. However, disinfection has been essential for water sources safeguard, the health risks from disinfectants and disinfection by-products have been much less than the risks from consuming water that has not been disinfected [10]. Concordantly, when ClO_2 is used for the disinfection of drinking water, about 70% converts to ClO_2^- through a selective one-electron transfer mechanism leading to the reduction process [11, 12]. Many countries' regulations about maximum contaminant level for chlorite anion including the U.S. Environmental Protection Agency (EPA) and the World Health Organization (WHO) vary between the value of 0.2 and 1.0 ppm [13]. Hence, consistent with these restrictions, this unavoidable by-product has to be monitored daily by reliable, simple and inexpensive methodology in drinking water, particularly.

Among various analytical methods for ClO_2^- anion detection such as chromatographic [14, 15], spectrophotometric [16, 17], voltammetric [18], amperometric [19], capillary electrophoresis [20] and flow injection [21], the most promising one has been spectrofluorometric method with great superiorities in terms of extreme sensitivity and selectivity [22]. Thanks to the fluorescence sensors/probes to be produced in this context, measurements/imaging of ClO_2^- can be performed readily in the area where the samples have to be collected. Besides, ClO_2^- can be determined together with other important anions in the same conditions selectively based on their interactions with the host sensor molecules and the attainable detection limit is very low via these fluorogenic sensors. To the best of our knowledge, to date, although some reports have been listed in the literature on fluorescent detecting of different reactive oxygen species like hypochlorite and perchlorate [23-28], no accomplished study has been reported in fluorescent detection of chlorite anion.

Developing an ideal fluorescent sensor is the keystone for the fluorimetry-based anion recognition applications. As fluorophores, which have an important place in sensor design, benzothiazoles and its derivatives have showed several outstanding advantages such as large Stokes shift, high fluorescence quantum yield, excellent stability and chemically modifiability. More importantly, these attractive molecules have the opportunity to follow a recognition processes called excited state intramolecular proton transfer (ESIPT) thanks to the combination of both hydrogen donor and acceptor groups together in their structures [29-31]. The other important component for the anion sensor designing is the receptor with anion binding capability. While numerous types of binding sites/receptors for anions are developed, a scaffold that presents binding sites has been found to be necessary to impart a sufficient anion binding affinity to the sensor molecule [32]. At this point, derivatives and/or analogs of calix[4]arene macrocycle have taken their indispensable place in the literature thanks to capability of hosting molecules or ions in their favorably adopted cone-shaped

hydrophobic cavities. Besides, OH functions, as chelating groups on the lower rim have been frequently chosen for the regioselective derivatization due to their affinity towards a molecule or ion. These all have been manifested by the applications in the field of host-guest chemistry, ion/molecular recognition, ion extraction and interaction with biomolecules [33-37]. However, while calixarene skeleton derivatization effort and introducing new host molecules to the literature is still increasing day by day, the fluorescence recognition studies of ClO_2^- ion based on this macrocycle are still unavailable. This encouraged us to steer fluorescent detection works with developing more efficient chemosensors with high sensitivity and selectivity through ClO_2^- ion.

Considering the chlorite ion detection topic from many aspects mentioned above, in this work, a fluorescent chlorite anion sensor has been recently designed and fabricated as a leading candidate that may fulfil the demand / fill the void in the most attractive areas such as supramolecular chemistry and environmental monitoring. We strongly believe that our conveniently synthesized chlorite sensor, as being first of its kind with its applicability in an aqueous environment and its distinct color changing sensitivity against chlorite anion, will be directive for the scientists who works or will work in the field of fluorescent detection of chlorite.

2. Material and Method

2.1. General

FTIR spectrum was recorded in ATR apparatus with a PerkinElmer Spectrum Two spectrophotometer. ^1H - and ^{13}C -NMR measurements were performed on an Agilent 400 MHz NMR spectrometer. The NMR data (chemical shifts, δ) were reported in ppm units with tetramethylsilane (TMS) as internal standard and deuterated chloroform (CDCl_3) as solvent. High resolution mass spectrum (HRMS) was acquired on an Agilent 6230 TOF-MS system with a positive ion mode electrospray ionization (ESI) technique. UV-Vis spectrum was obtained on a PerkinElmer Lambda 35 spectrophotometer with quartz cuvettes having 1 cm path length. Fluorescence spectra measurements were recorded on an Agilent Cary Eclipse fluorescence spectrophotometer using excitation and emission slit widths, both 5 nm, and a quartz cell with 1 cm path length. All the solvents, reagents and aqueous anion solutions received from commercial suppliers were directly used without further purification. Thin layer chromatography (TLC) analyses with aluminum silica gel 60 F254 plates were performed for the reaction monitoring and flash column chromatography with 230×400 mesh silica gel 60 were applied for the compound purification.

2.2. Synthesis of Chemosensor V

An intermediate chloroacetamide compound (**III**) was synthesized according to a previous report [38]. Followingly, the target sensor candidate, compound **V** was obtained via a similar method from our previous work [39]. Concordantly, the solution of chloroacetamide **III** (1.51 g, 5.0 mmol) and KI (1.0 g, 6.0 mmol) in acetone was added dropwise to the solution of calix[4]arene **IV** (849 mg, 2.0 mmol) with K_2CO_3 (691 mg, 5.0 mmol) in toluene. After this reaction mixture was stirred at room temperature for an hour, it was continued under reflux with TLC monitoring. When the reaction was complete, it was allowed to

cool to room temperature and the solvent was evaporated under reduced pressure. The obtained residue was purified by silica gel flash column chromatography using CH_2Cl_2 :Hexane (10:1, v/v) solvent system to obtain the pure compound **V**, namely 25,27-bis(N-(benzothiazole-4-yl)-acetamide)-26,28-dihydroxy-calix[4]arene in 52% yield. FTIR (ATR) ν cm^{-1} 1214 (C-O-C), 1301 (C-N), 1589 (C=C), 1616 (C=N), 1688 (C=O); ^1H NMR (400 MHz) δ 11.75 (s, 2H, NH), 8.20 (d, $J = 8.2$ Hz, 2H, ArH), 7.85 (d, $J = 8.2$ Hz, 2H, ArH), 7.82 – 7.71 (m, 2H, ArOH), 7.35 – 7.23 (m, 16H, ArH), 6.91 (d, $J = 7.5$ Hz, 4H, ArH), 6.81 – 6.72 (m, 2H, ArH), 6.67 (t, $J = 7.5$ Hz, 2H, ArH), 4.71 (s, 4H, OCH_2), 4.51 (d, $J = 13.3$ Hz, 4H, ArCH_2Ar), 3.44 (d, $J = 13.3$ Hz, 4H, ArCH_2Ar); ^{13}C NMR (100 MHz) δ 173.2, 169.2, 157.1, 152.5, 149.7, 143.2, 142.7, 138.3, 137.3, 135.3, 132.9, 132.1, 131.1, 129.8, 128.0, 127.4, 127.4, 127.1, 126.2, 125.8, 125.7, 120.3, 71.6, 31.3, 30.2. HRMS (ESI-TOF) calcd for $\text{C}_{58}\text{H}_{44}\text{N}_4\text{O}_6\text{S}_2\text{K}$ $[\text{M}+\text{K}]^+$ 995.2205, found 995.2231.

2.3. Fluorescence Experiments

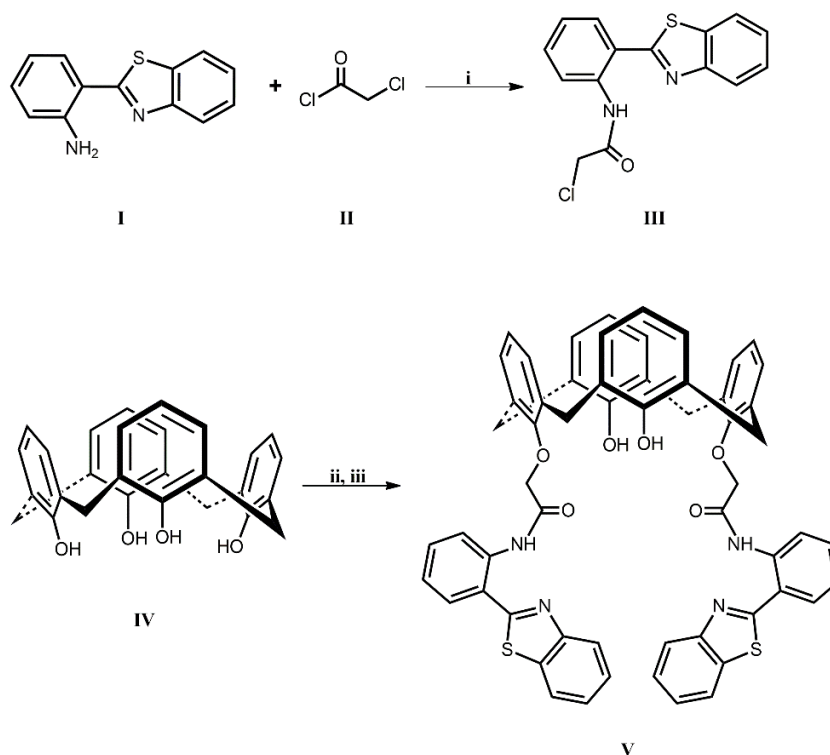
All solutions of anions; chromate (CrO_4^{2-}), chloride (Cl^-), chlorite (ClO_2^-), chlorate (ClO_3^-), perchlorate (ClO_4^-), fluoride (F^-), bromate (BrO_3^-), nitrate (NO_3^-), phosphate (PO_4^{3-}) and sulphate (SO_4^{2-}) were used directly from their readily available sodium salts at a concentration of 1000 ppm. The sensor compound **V** was also dissolved in $\text{THF}:\text{H}_2\text{O}$ (70:30, v/v) with a concentration value of 9.38×10^{-5} M. Lastly, diluted sensor **V** solution (1 equiv) and anion solutions (10 equiv) were stirred vigorously and the resulting complex solutions were measured initially with the fluorescence spectrophotometry for their fluorometric response.

3. Results and Discussion

3.1. Design, Synthesis, Characterization and Photophysical Properties of Sensor **V**

The sensor **V** was prepared by following the synthetic route with two-step shown in Scheme 1. As is seen, firstly, benzothiazole compound (**I**) was reacted with chloroacetyl chloride (**II**) in the presence of Et_3N in CH_2Cl_2 to furnish chloroacetamide compound **III** which is a more synthetically versatile intermediate. Following, another substitution reaction between calix[4]arene (**IV**) and the intermediate **III** in the presence of K_2CO_3 / KI in acetone/toluene solvent system was selectively carried out in order to obtain the target sensor **V**. The purity of conveniently synthesized **V** was confirmed with its characterization data of such spectroscopic techniques as FTIR, ^1H - and ^{13}C -NMR along with HRMS analysis.

In FTIR spectrum of sensor **V**, as an evidence of intermolecular bonding through chloroacetyl moiety, characteristic stretching peaks for C=N and C=O groups were observed at 1616 and 1688 cm^{-1} , respectively. In ^1H NMR spectrum, while methylene bridge protons (ArCH_2Ar) of calix[4]arene cone were detected at 3.44 and 4.51 ppm as doublets, methylene of chloroacetyl linking group (OCH_2CO) were displayed at 4.71 ppm. Besides, NH protons at 11.75 ppm as singlet and the sufficient number of aromatic protons distributed between 8.20 and 6.67 indicated that the desired sensor candidate compound was successfully synthesized. The characteristic peaks of methylene carbons belonging to calix cone and chloroacetyl moiety at 71.6, 31.3 and 30.2 ppm, respectively in the ^{13}C NMR also support this consideration. Additionally, HRMS spectrum of **V** displayed a molecular ion peak $[\text{M}+\text{K}]^+$ at 995.2231 as the most conclusive evidence that fits the expectations for the structural elucidation.



Scheme 1. Synthetic route of the sensor, benzothiazole bearing calix[4]arene **V**; Reagents and conditions: (i) Et_3N , CH_2Cl_2 , r.t.; (ii) K_2CO_3 , toluene, r.t.; (iii) **III**, KI , acetone, reflux

The photophysical properties of sensor candidate were investigated by UV-Vis and fluorescence spectra along with selectivity/sensitivity studies. The sensor candidate **V** is soluble in common organic solvents such as DMSO, THF, CHCl_3 and in aqueous solution with organic solvents such as THF. Figure 1 shows the fluorescence viewing of THF solutions within the increasing water amount containing the same concentrations of compound **V**. Due to the best fluorescent response that would allow us to see the photophysical changes most clearly [40, 41], the ratio of 70:30 (v/v) THF- H_2O mixture was selected for further fluorescence experiments such as selectivity and sensitivity. The maximum absorption band of compound **V** (9.38×10^{-5} M) in the relevant ratio of THF- H_2O lied at 310 nm, and upon excitation, the maximum emission wavelength was observed at 552 nm (Fig. 2) showing a significant pseudo Stokes shift ($\Delta\lambda = 242$ nm).

3.2. Selectivity Studies

As shown in Figure 2, the sensor candidate **V** shows weak fluorescence at 552 nm itself. By the addition of various anions such as CrO_4^{2-} , Cl^- , ClO_3^- , ClO_4^- , F^- , BrO_3^- , NO_3^- , PO_4^{3-} and SO_4^{2-} to the solutions containing compound **V**, the fluorescence

spectra were scarcely changed. In contrast, addition of ClO_2^- anion to **V** created a strong blue fluorescence at 468 nm while the main emission band at 552 nm disappeared along with a large Stokes shift with the value of 158 nm (Fig. 2). As can be seen from the photo taken under fluorescent lamp as Figure 3, this observation indicated that chlorite anion selectively triggered fluorescence enhancement of compound **V** over other competitive anions.

3.3. Titration Studies

The results of fluorescence titration of compound **V** with chlorite anion is shown in Figure 4 in order to get insight into the sensitivity of **V** to ClO_2^- . To investigate the detection limit of the sensor **V** for ClO_2^- , compound **V** (9.38×10^{-5} M) was treated with various concentrations of ClO_2^- (0–20 equivalents). Incremental addition of chlorite increases the fluorescence intensity remarkably at 468 nm. Also shown as an inset in Figure 4, the linear relationship between the fluorescence intensity and chlorite concentrations was clearly observed.

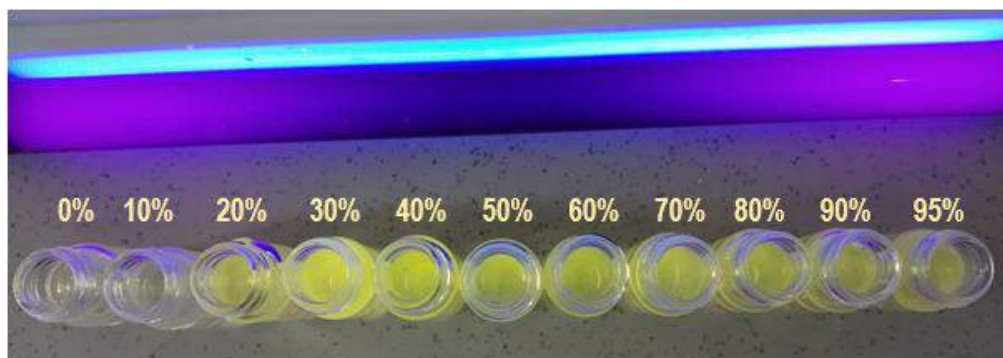


Figure 1. Fluorescence viewing of sensor **V** in THF- H_2O solutions with increasing water fractions

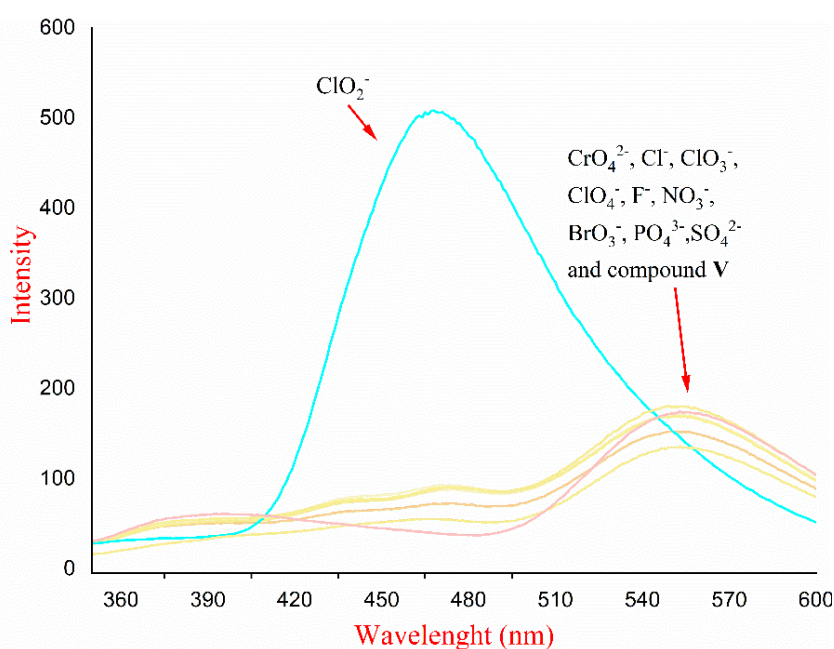


Figure 2. Fluorescence spectrum of sensor **V** in the absence and presence of various anions in THF- H_2O (70:30, v/v)



Figure 3. Photograph of the fluorometric responses of sensor **V** toward various anions in THF-H₂O (70:30, v/v)

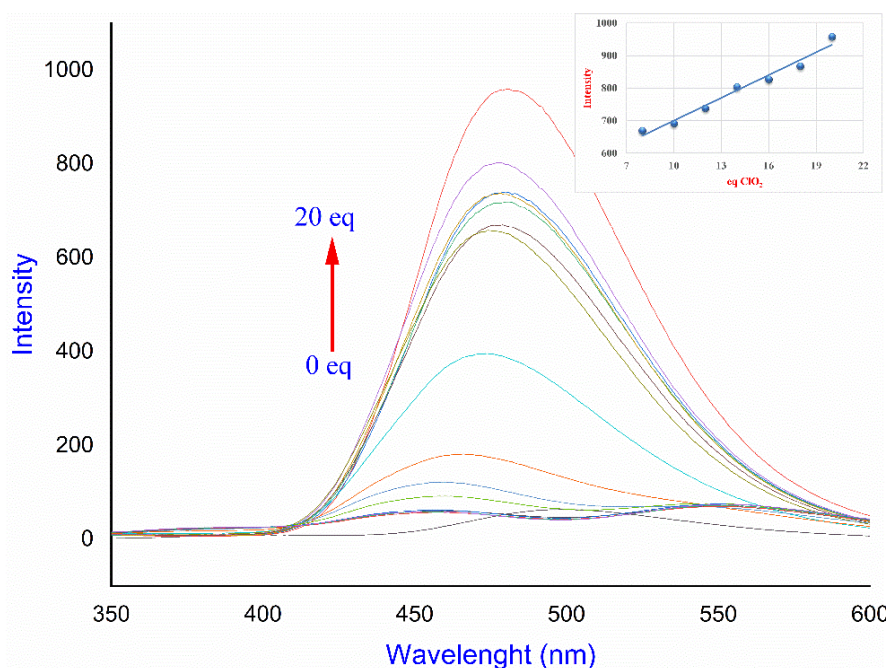


Figure 4. Changes in the fluorescence emission spectrum of sensor **V** with various equivalents of ClO₂⁻ ion; inset: fluorescence intensity versus chlorite concentration

4. Conclusions and Recommendations

A recently synthesized fluorogenic chemosensor compound (**V**) for the determination of chlorite ion is reported. Fluorescent measurements were performed in aqueous medium that enables the water analysis method to be applied on site. In that medium, the chemosensor exhibits remarkably enhanced fluorescence accompanied with a colour change from yellow to blue for chlorite anion. These results obtained in the study show that the sensor compound **V** can provide excellent performance with the production of fluorometric responses selectively and sensitively for chlorite anions in aqueous systems without affecting from other competing ions. Therefore, we can proudly say that the

related method is suitable for controlling of chlorite anion in water sources, which has a great importance for the human health and the sensor would find a great deal of practical applications in chlorite monitoring. In addition, a clear understanding of the response style of chlorite anion is of great value in terms of significance for the gaining insight about reactive oxygen species-calixarene interactions in sensor design. In this way, new ideas for the design of especially, new 1,3-disubstituted calixarene based analogues/derivatives will come to the light. Within this context, our simultaneous studies based on calix[4]arene scaffold with regard to its selective/sensitive recognition ability towards various anions is currently under progress.

5. Acknowledge

The authors gratefully acknowledge Usak University Scientific Analysis Technological Application and Research Center for the fluorescence spectrophotometry analyses.

References

- [1] Pezzatini, G., Midili, I., Toti, G., Loglio, F., Innocenti, M. (2004). Determination of chlorite in drinking water by differential pulse voltammetry on graphite. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 380(4), 650–657.
- [2] Lutze, H. V. (2016). Water, 6. Treatment by oxidation processes. In Wiley-VCH (Ed.), *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry* (pp. 1–16). Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- [3] Henderson, R., Carlson, K., Gregory, D. (2001). The impact of ferrous ion reduction of chlorite ion on drinking water process performance. *Water Research*, 35(18), 4464–4473.
- [4] Herman, M., Wiczorek, M., Matuszek, M., Tokarczyk, J., Stafinski, M., Koscielniak, P. (2006). Determination of chlorite in drinking water and related aspects of environment protection. *Journal of Elementology*, 11(4), 449–455.
- [5] Chang, C.-Y., Hsieh, Y.-H., Hsu, S.-S., Hu, P.-Y., Wang, K.-H. (2000). The formation of disinfection by-products in water treated with chlorine dioxide. *Journal of Hazardous Materials*, 79(1–2), 89–102.
- [6] Gan, W., Huang, H., Yang, X., Peng, Z., Chen, G. (2016). Emerging investigators series: Disinfection byproducts in mixed chlorine dioxide and chlorine water treatment. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 2(5), 838–847.
- [7] Padhi, R. K., Subramanian, S., Satpathy, K. K. (2019). Formation, distribution, and speciation of DBPs (THMs, HAAs, ClO_2^- , and ClO_3^-) during treatment of different source water with chlorine and chlorine dioxide. *Chemosphere*, 218, 540–550.
- [8] Myers, J. N., Steinecker, W. H., Sandlin, Z. D., Cox, J. A., Gordon, G., Pacey, G. E. (2012). Development of an automated on-line electrochemical chlorite ion sensor. *Talanta*, 94, 227–231.
- [9] Health Canada (2020). *Guidelines for Canadian Drinking Water Quality—Summary Table*. Water and Air Quality Bureau, Healthy Environments and Consumer Safety Branch. https://www.canada.ca/content/dam/hc-sc/migration/hc-sc/ewh-semt/alt_formats/pdf/pubs/water-eau/sum_guide-res_recom/summary-table-EN-2020-02-11.pdf
- [10] Health Canada (2008). *Guidelines for Canadian Drinking Water Quality: Guideline Technical Document—Chlorite and Chlorate* (Publication No. H128-1/08-549E). Water Quality and Health Bureau, Healthy Environments and Consumer Safety Branch. <https://www.canada.ca/content/dam/canada/health-canada/migration/healthy-canadians/publications/healthy-living-vie-saine/water-chlorite-chlorate-eau/alt/water-chlorite-chlorate-eau-eng.pdf>
- [11] World Health Organization (2017). *Guidelines for Drinking-water Quality: fourth edition incorporating the first addendum*. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>
- [12] Hoigne, J., Bader, H. (1994). Kinetics of reactions of chlorine dioxide (OClO) in water—I. Rate constants for inorganic and organic compounds. *Water Research*, 28(1), 45–55.
- [13] Al-Zahrani, E., Soomro, M. T., Bashami, R. M., Ur-Rehman, A., Danish, E., Ismail, I. M. I., Aslam, M., Hameed, A. (2016). Fabrication and performance of magnetite (Fe_3O_4) modified carbon paste electrode for the electrochemical detection of chlorite ions in aqueous medium. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4(4A), 4330–4341.
- [14] Teh, H. B., Yau-Li, S. F. (2015). Simultaneous determination of bromate, chlorite and haloacetic acids by two-dimensional matrix elimination ion chromatography with coupled conventional and capillary columns. *Journal of Chromatography A*, 1383, 112–120.
- [15] Zhu, B., Zhong, Z., Yao, J. (2006). Ion chromatographic determination of trace iodate, chlorite, chlorate, bromide, bromate and nitrite in drinking water using suppressed conductivity detection and visible detection. *Journal of Chromatography A*, 1118(1), 106–110.
- [16] Kang, C.-Y., Jiang, Z.-L., Xi, D.-L., He, X.-C. (2006). A novel, simple and sensitive resonance scattering spectral method for the determination of chlorite in water by means of rhodamine B. *Journal of Environmental Sciences*, 18(5), 1000–1003.
- [17] Prince, L. A. (1964). Determination of chloride, hypochlorite, chlorite, chlorate, perchlorate, and chlorine dioxide in composite mixtures. *Analytical Chemistry*, 36(3), 613–616.
- [18] Cubuk, O., Colak, I., Özdokur, K. V., Caglar, B., Coldur, F., Topcu, C. (2019). Voltammetric detection of chlorite ion using carbon paste sensor modified with N-cetylpyridinium-bentonite. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 99(4), 343–356.
- [19] Casella, I. G., Contursi, M. (2005). Electrochemical and spectroscopic characterization of a tungsten electrode as a sensitive amperometric sensor of small inorganic ions. *Electrochimica Acta*, 50(20), 4146–4154.
- [20] Praus, P. (2004). Determination of chlorite in drinking water by on-line coupling of capillary isotachopheresis and capillary zone electrophoresis. *Talanta*, 62(5), 977–982.
- [21] Ohura, H., Imato, T., Yamasaki, S. (1999). Simultaneous potentiometric determination of ClO_3^- – ClO_2^- and ClO_3^- – HClO by flow injection analysis using $\text{Fe(III)}-\text{Fe(II)}$ potential buffer. *Talanta*, 49(5), 1003–1015.
- [22] Liu, Y., Sun, Y., Du, J., Lv, X., Zhao, Y., Chen, M., Wang, P., Guo, W. (2011). Highly sensitive and selective turn-on fluorescent and chromogenic probe for Cu^{2+} and ClO^- based on a N-picolinyl rhodamine B-hydrazide derivative. *Organic & Biomolecular Chemistry*, 9(2), 432–437.
- [23] Jiang, Q., Jing, Y., Ni, Y., Gao, R., Zhou, P. (2020). Potentiality of carbon quantum dots derived from chitin as a fluorescent sensor for detection of ClO^- . *Microchemical Journal*, 157, Article 105111.
- [24] Yang, Y., Gao, C.-Y., Chen, J., Zhang, N., Dong, D. (2016). A pyrene-based fluorescent and colorimetric chemodosimeter for the detection of ClO^- ions. *Analytical Methods*, 8(4), 805–809.
- [25] Shiraiishi, Y., Yamada, C., Hirai, T. (2019). A coumarin-dihydroperimidine dye as a fluorescent chemosensor for hypochlorite in 99% water. *RSC Advances*, 9(49), 28636–28641.
- [26] Wang, W., Ning, J.-Y., Liu, J.-T., Miao, J.-Y., Zhao, B.-X. (2019). A mitochondria-targeted ratiometric fluorescence sensor for the detection of hypochlorite in living cells. *Dyes and Pigments*, 171, Article 107708.

- [27] Li, J., Huo, F., Yin, C. (2014). A selective colorimetric and fluorescent probe for the detection of ClO^- and its application in bioimaging. *RSC Advances*, 4(84), 44610–44613.
- [28] Zheng, X., Fan, R., Xing, K., Zhu, K., Wang, P., Yang, Y. (2020). Smart cationic coordination polymer: A single-crystal-to-single-crystal approach for simultaneous detection and removal of perchlorate in aqueous media. *Chemical Engineering Journal*, 380, Article 122580.
- [29] Zhong, X., Yang, Q., Chen, Y., Jiang, Y., Dai, Z. (2020). Aggregation-induced fluorescence probe for hypochlorite imaging in mitochondria of living cells and zebrafish. *Journal of Materials Chemistry B*, 8(33), 7375–7381.
- [30] Dahal, D., McDonald, L., Bi, X., Abeywickrama, C., Gombedza, F., Konopka, M., Paruchuri, S., Pang, Y. (2017). An NIR-emitting lysosome-targeting probe with large Stokes shift via coupling cyanine and excited-state intramolecular proton transfer. *Chemical Communications*, 53(26), 3697–3700.
- [31] Tseng, H.-W., Liu, J.-Q., Chen, Y.-A., Chao, C.-M., Liu, K.-M., Chen, C.-L., Lin, T.-C., Hung, C.-H., Chou, Y.-L., Lin, T.-C., Wang, T.-L., Chou, P.-T. (2015). Harnessing excited-state intramolecular proton-transfer reaction via a series of amino-type hydrogen-bonding molecules. *Journal of Physical Chemistry Letters*, 6(8), 1477–1486.
- [32] Sakai, R., Satoh, T., Kakuchi, T. (2017). Polyacetylenes as colorimetric and fluorescent chemosensor for anions. *Polymer Reviews*, 57(1), 160–175.
- [33] Pur, F. N. (2020). Calix[4]API-s: fully functionalized calix[4]arene-based facial active pharmaceutical ingredients [in-press]. *Molecular Diversity*, <https://doi.org/10.1007/s11030-020-10042-0>.
- [34] Kumar, R., Sharma, A., Singh, H., Suating, P., Kim, H. S., Sunwoo, K., Shim, I., Gibb, B. C., Kim, J. S. (2019). Revisiting fluorescent calixarenes: From molecular sensors to smart materials. *Chemical Reviews*, 119(16), 9657–9721.
- [35] Rodell, C. B., Mealy, J. E., Burdick, J. A. (2015). Supramolecular guest-host interactions for the preparation of biomedical materials. *Bioconjugate Chemistry*, 26(12), 2279–2289.
- [36] Naseer, M. M., Ahmed, M., Hameed, S. (2017). Functionalized calix[4]arenes as potential therapeutic agents. *Chemical Biology & Drug Design*, 89(2), 243–256.
- [37] Kiegiel, K., Steczek, L., Zakrzewska-Trznadel, G. (2013). Application of calixarenes as macrocyclic ligands for uranium(VI): A review. *Journal of Chemistry*, 2013, Article 762819.
- [38] Fang-Lu, F., Jin-Qiu, J., Xue-Mei, C. (2015). Synthesis, crystal structure and fluorescent properties of a novel benzothiazole-derived fluorescent probe for Zn^{2+} . *Journal of Chemical Research*, 39(11), 661–664.
- [39] Bozkurt, S., Halay, E., Durmaz, M., Topkafa, M., Ceylan, Ö. (2021). A novel turn-on fluorometric "reporter-spacer-receptor" chemosensor based on calix[4]arene scaffold for detection of cyanate ion [in-press]. *Journal of Heterocyclic Chemistry*, <https://doi.org/10.1002/jhet.4238>
- [40] Halay, E., Bozkurt, S. (2018). Enantioselective recognition of carboxylic acids by novel fluorescent triazine-based thiazoles. *Chirality*, 30(3), 275–283.
- [41] Bozkurt, S., Halay, E. (2020). Synthesis, application and AIE properties of novel fluorescent tetraoxocalix[2]arene[2]triazine: the detection of a hazardous anion, cyanate. *Tetrahedron*, 76(46), Article 131647.



100 Basamak Probleminin Jade Algoritması ile Çözülmesi

Gürcan Yavuz^{1*}

^{1*} Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-2540-1930),
gurcan.yavuz@dpu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 11 Aralık 2020 ve Kabul Tarihi 26 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.839083)

ATIF/REFERENCE: Yavuz, G., (2021). 100 Basamak Probleminin Jade Algoritması ile Çözülmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 493-500.

Öz

Gerçek parametre optimizasyon problemlerinin çözümü için metasezgisel algoritmalarla sıklıkla başvurulmaktadır. Bu algoritmalar, problemlerin çözümüne uygulanmadan önce tasarımcıları tarafından yeterli performans elde edene kadar test edilirler. Tasarımcılar önerdikleri algoritmaları test etmek için literatürde sunulmuş çok sayıda sentetik fonksiyon setleri yer almaktadır. Bunlardan bir tanesi de CEC 2019 yarışmasında yer alan ve "100 basamak problemi" olarak adlandırılmış settir. Gerçek parametre optimizasyonunun çözümü için başvuru olan önemli algoritmalarından biri de Diferansiyel Gelişim (DE) algoritmasıdır. Basit yapısı, kolay gerçekleştirilebilirliği ve elde ettiği başarılı sonuçlar DE'nin yaygın kullanılmasına ve performansının iyileştirilerek yeni varyantların ortaya çıkmasına yol açmıştır. Literatürdeki DE varyantlarının en bilinenlerinin başında JADE algoritması gelmektedir. Bu çalışmada, CEC 2019 yarışmasına ait olan 100 basamak probleminin çözümü JADE algoritması kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, iki adet metasezgisel ile karşılaştırılmıştır. Bunlar; Diferansiyel Gelişim ve Yapay Arı Kolonisi (ABC) algoritmalarıdır. Üç algoritmanın katıldığı deneylerin adil bir şekilde yapılması için otomatik parametre aracı ile algoritmaların parametreleri yapılandırılmıştır. Ayrıca, deneylere katılan bütün algoritmalar farklı fonksiyon çağırım sayıları (FES) ile çalıştırılarak algoritmaların çalışma davranışları incelenmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki, JADE çalıştırıldığı her FES değerinde karşılaştırıldığı algoritmalarından daha iyi sonuçlar elde etmiştir. Ayrıca FES değeri artırdıkça algoritmanın başarımının iyileştiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: JADE, CEC 2019, 100 basamak problemi, Optimizasyon.

Solving 100-Digit Challenge with Jade Algorithm

Abstract

Metaheuristic algorithms are frequently used to solve real parameter optimization problems. Before these algorithms are applied to the solution of problems, they are tested by their designers until they have enough performance. There are many benchmark sets presented in the literature to test the algorithms proposed by the designers. One of them is the one included in the CEC 2019 competition and named as the "100-digit problem". One of the most important algorithms used for the solution of real parameter optimization is the Differential Evolution (DE) algorithm. Its simple structure and easy implementation have led to the widespread use of DE and the emergence of new variants by improving its performance. In this study, the solution of the 100-digit problem belonging to the CEC 2019 competition was carried out using the JADE algorithm. The results obtained are compared with two metaheuristics. These algorithms are Differential Evolution and Artificial Bee Colony (ABC). For the experiments involving three algorithms to be fair, the parameters were configured with the automatic parameter tool. Besides, all algorithms participating in the experiments were run with different function evaluation numbers (FES) and the working behavior of the algorithms was examined. The results showed that; JADE achieved better results than other algorithms at all FES values. Also, as the FES value increased, the performance of the JADE algorithm improved.

Keywords: JADE, CEC 2019, 100-Digit Challenge, Optimization.

* Sorumlu Yazar: gurcan.yavuz@dpu.edu.tr

1. Giriş

Diferansiyel Gelişim (Differential Evolution, DE) algoritması, 1995 yılında Storn ve Price tarafından geliştirilmiş popülasyon tabanlı bir algoritmadır (R Storn & Price, 1995). Algoritmanın yapısının basit oluşuna karşın gösterdiği üstün başarı algoritmaya ilginin artmasına sebep olmuştur. Bu ilgi, algoritmanın üzerine yapılan çalışmaların çok fazla olmasına yol açmıştır (Çelik, Yıldız, & Karadeniz, 2019; Özyön, 2020). Bu çalışmaların başında DE'ye iyileştirmeler getirilerek çeşitli varyantlarının ortaya çıkması yer alır.

DE'nin ortaya çıkışından bu yana algoritma üzerine yapılan iyileştirmeler ile algoritmanın performansı artırılmaya çalışılmıştır. Bu iyileştirmelerin yapıldığı ilk yer algoritmanın ilkendirme adımında gerçekleştirilmiştir. Rahnamayan vd. DE algoritmasına karşıt-tabanlı öğrenme yöntemini entegre etmişlerdir (Rahnamayan, Tizhoosh, & Salama, 2008). Yüzgeç ve Eser, DE başlangıç popülasyonunu belirlemek için kaotik sistemden faydalanmışlardır (Yüzgeç & Eser, 2018). Bunun dışında yapılan bir diğer değişiklik, farklı mutasyon stratejilerinin önerilmesidir. Piotrowski global ve yerel komşuluk tabanlı mutasyon operatörü önermiştir (Piotrowski, 2013). Cai vd., arama yeteneklerini geliştirmek için yönlü bir mutasyon operatörü önermişlerdir (Cai vd., 2017). Bir başka iyileştirme de çaprazlama adımında yapılan geliştirmelerdir. Guo ve Yang, eigen vektör tabanlı bir çaprazlama operatörü önermişlerdir (Guo & Yang, 2014). Fan ve Zhang, uyarlanabilir çaprazlama stratejileri önermişlerdir (Fan & Zhang, 2016). DE her ne kadar performanslı bir algoritma olsa da başka optimizasyon teknikleri ile melezleştirme işlemi yapılmıştır. Zhang vd., DE algoritmasını Guguklu Arama ve Krill Sürü Optimizasyonu ile melezleştirmişlerdir (Z. Zhang, Dong, & Gao, 2016). Liu, Cai ve Wang ise Parçacık Sürü Optimizasyon algoritması ile DE'yi melezleştirerek kısıtlı optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanmışlardır (Liu, Cai, & Wang, 2010). Bir diğer geliştirme de DE'nin sahip olduğu parametrelerini belirleme yöntemleridir. Kumar, Mandal ve Chakraborty DE'ye ait parametreleri kaotik haritalamalar kullanılarak belirlemişlerdir (Kumar, Mandal, & Chakraborty, 2019). Bir diğer parametre belirleme yöntemi ise uyarlanabilir olarak parametrelerin belirlenmesidir. Bunlara örnek olarak, (Ye vd., 2014) (J. Zhang & Sanderson, 2009) (Piotrowski, 2018) verilebilir.

Price vd. CEC 2019 gerçek parametre optimizasyonu için 100 basamak problemini sunmuşlardır (K. V. Price, N. H. Awad, M. Z. Ali, 2018). Bu problem, birbirinden zor ve karmaşık 10 adet problem içermektedir. Buradaki amaç, 10 problemin global optimum değerini 10 basamak doğruluk seviyesine kadar hesaplayarak 100 tam puanı elde etmektir. Literatürde bu ölçüt setinin çözümü için çeşitli metasezgisel algoritmalar sunulmuştur. Xu vd. iki tane güçlü optimizasyon algoritması PSO ve CMA-ES algoritmalarını hibritleştirme yoluna gitmişler ve CEC 2019 problemlerinin çözümlerinde kullanmışlardır (Xu, Luo, Lin, Qiao, & Zhu, 2019). Salgotra vd. önerdikleri adaptif parametre yöntemi ile SALSHADE-cnEpSin adını verdikleri yeni bir DE varyantı önermişler ve CEC 2019 ölçüt setindeki problemleri çözmüşlerdir (Salgotra, Singh, Saha, & Nagar, 2019). Pelusi vd. de ortaya koydukları Kütleçekim Arama algoritması varyantı olan Hiperbolik Kütleçekim Arama Algoritmasının performansını bu ölçüt seti ile test etmişlerdir (Pelusi vd., 2020). Lu vd. CEC 2019 problemleri için İş Bölümü Teorisi' ne dayanan DLABC adını verdikleri bir ABC

algoritması önermişlerdir (Lu vd., 2019). Bugar ve Beyhan ise, optimizasyon problemlerinin çözümü için önerdikleri yeni bir metasezgisel olan Ergen Kimlik Arama Algoritmasının (AISA) başarısını CEC 2019 ölçüt seti kullanarak test etmişlerdir (Bogar & Beyhan, 2020). Bu çalışmada ise, uyarlanabilir ve önemli birkaç DE varyantından biri (Piotrowski & Napiorkowski, 2018) olan JADE algoritması ile bu 100 basamak problemi çözülmüş ve çeşitli deneyler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, algoritmanın farklı fonksiyon çağrım sayılarındaki davranışı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, Yapay Arı Kolonisi (Karaboga & Basturk, 2007) ve Diferansiyel Gelişim algoritmaları ile karşılaştırılmıştır.

Bu çalışma şu şekilde organize edilmiştir. Birinci bölümde, çalışmayı kısaca tanıtan Giriş kısmı yer almaktadır. İkinci bölümde, çalışmada kullanılan JADE algoritmasının detaylarına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde, 100 basamak problemi deneyleri ve elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır. Son bölüm olan dördüncü bölümde ise, yapılan çalışma değerlendirilerek elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

2. Jade Algoritması

JADE, Zhang ve Sanderson tarafından 2009 yılında önerilmiş olan bir uyarlanabilir DE varyantıdır (J. Zhang & Sanderson, 2009). Orijinal DE algoritmasından ayrılan iki iyileştirmeye sahiptir. Birincisi, algoritmanın seçme aşamasında başarısız olan bireylerin bilgileri arşivlenir ve mutasyon adımıyla arşivden rastgele seçimine dayanan "current-to-pbest/1" mutasyon stratejisine sahip olmasıdır. İkincisi ise, algoritmanın mutasyon ve çaprazlama oranlarını belirleyen F ve CR değerlerinin belirlenmesi için uyarlanabilir yöntemler bulunmasıdır. JADE'nin sözde kodu Algoritma 1'de verilmiştir.

JADE algoritması, problem boyutu sınırlarına uyarak rastgele bireyler üreterek çalışmaya başlamaktadır. Buna ek olarak, seçme adımında seçilemeyen bireyleri tutan A arşivi, başarılı olduğu kabul edilen F değerlerini tutan S_F ve başarılı olarak tanımlanan CR değerlerini tutan S_{CR} oluşturulmaktadır.

İklendirme adımından sonra algoritma, bitme kriteri sağlanıncaya kadar çalışan birbirlerini takip eden iterasyonlara girmektedir. Bu iterasyonların her birinde Orijinal DE'den farklı olarak JADE de her birey için ayrı F ve CR değerleri atanmaktadır. Değer atanması her iterasyonda uyarlanabilir olarak yapılmaktadır. Değerler belirlenirken önceki adımdaki güncellemelerde başarılı olmuş F ve CR değerleri S_{CR} ve S_F kümelerinde saklanmaktadır. Bu kümelerde yer alan bilgiler ile yeni F ve CR değerleri üretilmektedir.

CR parametresi Denklem (1)'de Cauchy dağılım vasıtasıyla, F parametresi ise Denklem (3) ile normal dağılım kullanılarak, üretilmektedir.

$$CR_i = randn(\mu_{CR}, 0.1) \quad (1)$$

Denklemden yer alan μ_{CR} , Cauchy dağılımının yer parametresini göstermektedir. Algoritma başlangıcında ilk değeri 0.5 olarak atanmaktadır. Ölçek parametresi de 0.1 olarak belirlenmiştir. İterasyonlar ilerledikçe aşağıdaki denklem ile parametre güncellenmektedir.

$$\mu_{CR} = (1 - c)\mu_{CR} + c \text{mean}_A(S_{CR}) \quad (2)$$

Burada, c değeri 0 ile 1 arasında belirlenmiş olan pozitif bir sayıdır. $mean_A$, normal aritmetik ortalamayı göstermektedir. S_{CR} ise iterasyonlarda başarılı olan çaprazlama olasılıklarının kümesini göstermektedir.

$$F_i = randc(\mu_F, 0.1) \quad (3)$$

μ_F ; normal dağılımın ortalaması, 0.1 de varyansdır. μ_F değeri algoritma başlangıcında 0.5 olarak atanır, iterasyonlar ilerledikçe değeri Denklem (4) ile güncellenir.

$$\mu_F = (1-c)\mu_F + c mean_L(S_F) \quad (4)$$

SF, önceki iterasyonlarda başarılı olan F değerlerinin tutulduğu kümedir. $mean_L$, ise Lehmer ortalamasını göstermektedir ve aşağıda yer alan denklem kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$mean_L(S_F) = \frac{\sum_{F \in S_F} F^2}{\sum_{F \in S_F} F} \quad (5)$$

F ve CR değerlerinin belirlenmesinden sonra algoritma, mutasyon adımına geçmektedir. JADE, mutasyon stratejisi olarak "current-to-pbest/1" denklemini kullanmaktadır. Bu yaklaşımda bireylerin bilgileri bir arşive kaydedilmekte ve daha sonra bu arşivden rastgele seçilmektedir. JADE algoritması, mutasyon vektörünü şu şekilde üretmektedir:

$$v_i = x_i + F_i \times (x_{pbest} - x_i) + F_i \times (x_{r1} - x_{r2}) \quad (6)$$

Denklemden bulunan x_{pbest} , popülasyondaki en iyi 100 p% birey içerisinde rastgele seçilmiş olan bireyi göstermektedir. Burada $p \in [0,1]$ bir sayıdır. F_i , değeri x_i bireyine ait olan mutasyon faktörünü temsil etmektedir. Bu değer her iterasyonda yeniden belirlenmektedir. x_{r1} , popülasyondan rastgele seçilmiş olan bir bireydir. x_{r2} , algoritmanın ilkendirme adımında tanımlanmış olan A arşivi ile mevcut popülasyonun birleşiminin oluşturduğu kümeden rastgele seçilen bireyi göstermektedir. Burada bahsedilen A arşivi, seçme adımında seçilmeyen bireyler ile doldurulmaktadır.

Mutasyon adımından sonra algoritma, çaprazlama ve seçme adımları ile çalışmasına devam etmektedir. Çaprazlama adımında her bireyin (x_i) sahip olduğu çaprazlama oranı (CR_i) kullanılarak deneme (u_i) vektörleri üretilmektedir. Daha sonra seçme adımında, çaprazlama adımında üretilmiş olan deneme vektörü mevcut olan birey vektörünün fitness değeri ile karşılaştırılır ve hangisinin daha iyi olduğuna karar verilir. Deneme vektörü daha iyi ise, mevcut vektör A arşivine dahil edilir. Böylelikle, bu bireye ait olan bilgilerin kaybolması engellenmiş olur. Bu işlem, algoritmanın arama yönünü güçlendirmekte ve popülasyon çeşitliliğini artırmaktadır. Deneme vektörü mevcut vektör olarak atanır. Seçme adımında deneme vektörü mevcut vektörden daha iyi olduğu için bu iterasyonda kullanılan CR_i ve F_i değerleri bir sonraki iterasyondaki F ve CR değerlerini belirlemek için S_{CR} ve S_F kümelerine koyulur.

İterasyonlar tamamlanırken, μ_F ve μ_{CR} değerleri sırasıyla Denklem (4) ve (2) ile bir sonraki iterasyonda kullanılması için belirlenmektedir. Ayrıca A arşivinin boyutunun kontrolü yapılmaktadır. Algoritmanın ilkendirme adımında, A arşivinin boyutu popülasyonun boyutu olan NP kadar tanımlanmaktadır. Eğer ki, algoritma süresince A'nın boyutu NP değerini geçer ise A'dan rastgele eleman silinerek A'nın boyutunun NP'ye eşitlenmesi sağlanır.

Algoritma 1. JADE algoritmasının sözde kodu.

```

1:  $G = 1, N_G = NP_{init}$ 
2:  $A, S_F, S_{CR}$  kümelerini oluştur
3:  $A = \{\}, NP, p$  ilk değerlerini ata
4:  $P_g$  popülasyonunu ( $P_g = x_{1,G}, \dots, x_{N,G}$ ) rastgele üret.
5:
6:  $\mu_F, \mu_{CR}$  değerlerini 0.5 olarak ata.
7: while bitme kriteri sağlanmadığı sürece do
8:   for  $i = 1: Np$ 
9:      $CR_i$  ve  $F_i$  değerlerini Denklem (1) ve Denklem (3) ile
    üret
10:    Denklem (6) ile mutasyon işlemini vektörünü hesapla
12:    çaprazlama işlemi uygula
13:    For  $j=1:D$ 
14:      if  $j = randint(1, D)$  veya  $rand(0,1) < CR_i$ 
15:         $u_{ij} = v_{ij}$ 
16:      Else
17:         $u_{ij} = x_{ij}$ 
18:
19:      if  $f(u_i) \leq f(x_i)$ 
20:         $A \leftarrow x_i, S_{CR} \leftarrow CR_i, S_F \leftarrow F_i$ 
21:
22:       $\mu_F, \mu_{CR}$  değerlerini Denklem (4) ve (2) ile hesapla
23:      A arşivinin boyutunu ayarla
24:
25:  $G = G + 1$ 

```

3. Deneysel Sonuçlar

Bu çalışmada, önemli bir DE varyantı olan JADE algoritması ile 100 basamak problemi çözülmüştür. Algoritmanın elde ettiği sonuçlar, iki farklı metasezgisel olan ABC (Karaboga, 2005) ve DE (Rainer Storn & Price, 1995) algoritmaları ile karşılaştırılmıştır.

100 basamak problemi, CEC 2019 yarışmasında ölçüt seti olarak kullanılmıştır (Price, Awad, Ali, & Suganthan, 2018). Bu ölçüt seti 10 adet fonksiyon içermektedir ve özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Bu ölçüt setindeki amaç, ölçüt setinde yer alan her bir fonksiyonun değerini 10 basamağa kadar doğru olarak belirlemektir. Sette yer alan bütün fonksiyonların en küçük değeri 1.000000000'dir. Yarışmada, 10 fonksiyonun değeri 10 basamağa kadar doğru olarak belirlenip 100 puanlık skorun toplanmasına çalışılmaktadır. Fonksiyonların optimum değerleri belirlenirken (Price vd., 2018)'de tanımlanmış kriterlere göre değerlendirme yapılmaktadır. Ölçüt setinde fonksiyonlar çözümlenirken bir bitirme kriteri olmadan çalıştırılmaktadır. Yani herhangi bir fonksiyon çağırım sayısı sınırı bulunmamaktadır.

Çalışmada kullanılan üç algoritma da, performanslarını etkileyen parametrelere sahiptirler. Bundan dolayı bu parametrelerin değerlerinin titizlikle seçilmesi gerekmektedir. Bunun için deneylerde, algoritmaların kontrol parametrelerini

belirlemek amacıyla otomatik parametre yapılandırma aracı irace'den faydalanılmıştır (López-Ibáñez, Dubois-Lacoste, Pérez Cáceres, Birattari, & Stützle, 2016).

irace, F-Race yöntemini tekrarlı şekilde uygulayan “iterated F-Race” metodunu kullanıcılarına bir R paketi olarak sunmaktadır. F-Race, aslında bir yarışma metodudur. F-Race, kendisine verilen parametreleri yapılandırılması istenen algoritmalar için aday parametre yapılandırmaları üretir ve yine kendisine verilen test setinde bunları yarıştırmak için en iyi parametre değerlerini belirlemeye çalışır (Liao, Molina, & Stützle, 2015). Iterated F-Race ise bu işlemi tekrarlı olarak gerçekleştirir. Çalışması ise kabaca şu şekildedir: Başlangıçta F-Race, verilen algoritma için yine kendisine verilmiş olan test setine özgü aday yapılandırmalar üretir ve bu test seti üzerinde aday yapılandırmalarını algoritmaya uygulayarak algoritmayı çalıştırır. Deneme sonucunda, bütün aday yapılandırmaların içinde en iyi olan yapılandırmayı istatistiksel testler yardımıyla belirlemeye çalışır. Kötü olan aday yapılandırmaları denemelerden çıkarır. Böylelikle, birinci tur gerçekleşmiş olur. İkinci tura geçildiğinde ise bir önceki turun galibi olan aday yapılandırmanın bilgileri kullanılarak yeni aday yapılandırmalar üretilir. Bu tur için de yine en iyi yapılandırma istatistiksel testler ile belirlenir. Bu işlem F-Race çalıştırma bütçesi kadar devam eder. irace işlemini tamamladığında algoritmaya ait en iyi yapılandırma çıktı verilir.

Tablo 1. 100 basamak probleminde yer alan fonksiyonlar ve özellikleri

Id	Fonksiyonlar	Boyut	Aralık
1	Storn's Chebyshev Polynomial Fitting	9	[-8192, 8192]
2	Inverse Hilbert Matrix Problem	16	[-16384, 16384]
3	Lennard-Jones Minimum Energy	18	[-4, 4]
4	Rastrigin's Function	10	[-100, 100]
5	Griewangk's Function	10	[-100, 100]
6	Weierstrass Function	10	[-100, 100]
7	Modified Schwefel's Function	10	[-100, 100]
8	Expanded Schaffer's F6 Function	10	[-100, 100]
9	Happy Cat Function	10	[-100, 100]
10	Ackley Function	10	[-100, 100]

Bu çalışmada irace, ön tanımlı ayarları ile çalıştırılmıştır. Deneylerde kullanılan ölçüt seti eğitim ve deneme olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Eğitim seti için, algoritmalar 100 basamak probleminde düşük FES değeri kullanılarak çalıştırılmıştır. Bu değer 1E+05 fonksiyon çağırımı sayısı kadardır. JADE, DE ve ABC algoritmalarına ait olan kontrol parametrelerinin özellikleri ve irace aracının belirlemiş olduğu yapılandırılmış parametre değerleri Tablo 2’de verilmiştir.

JADE, DE ve ABC algoritmaları Cpp ile kodlanmıştır. Ölçüt setinde yer alan fonksiyonlar, Tablo 2’deki parametre değerleri algoritmalara uygulanarak çözülmüştür. Bütün algoritmalar her bir fonksiyon için 51 defa bağımsız olarak çalıştırılmıştır. Algoritmaların farklı fonksiyon çağırımı sayılarındaki davranışlarının incelenmesi için 1E+05, 5E+05, 1E+06 ve 5E+06 FES değerlerinde çalıştırılmıştır. Çalıştırma işlemleri, AMD Ryzen 5 1600 3.2 GHz işlemcili ve 16 GB RAM belleğe sahip bilgisayarda gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2. Deneylerde yer alan algoritmaların parametreleri, özellikleri, aralık değerleri ve irace ile belirlenmiş olan parametre değerleri. (r: reel sayı, i: tam sayı, c: kategorik)

Algo.	Param.	Tür	Aralıklar	Değerler	Açıklama
ABC	NP	r	(7, 300)	37	Popülasyon boyutu
	limitf	r	(0, 4)	3.21	Limit faktörü
DE	NP	r	(7, 300)	34	Popülasyon boyutu
	F	c	(0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0)	0.5	Mutasyon faktörü
	CR	c	(0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0)	0.9	Çaprazlama oranı
JADE	NP	r	(7, 300)	252	Popülasyon boyutu
	p	c	(0.05, 0.06, 0.07, 0.08, 0.09, 0.10, 0.11, 0.12, 0.13, 0.14, 0.15, 0.16, 0.17, 0.18, 0.19, 0.20, 0.21, 0.22, 0.23, 0.24, 0.25, 0.26, 0.27, 0.28, 0.29, 0.30)	0.06	Mutasyon ağgözlülük oranı

Deneyler sonucunda JADE'nin doğru olarak belirlediği basamak sayılarına ait sonuçlar Tablo 3’te verilmiştir. Tablo 3a’da 5E+05 FES kadarlık bütçe kullanılarak elde edilen sonuçlar verilmiştir. F1 ve F2 fonksiyonlarında 10 puan olarak bütün basamakların doğru belirlenmiş olduğu gözükmemektedir. F3, F4, F7 ve F10 fonksiyonlarında algoritma sadece bir basamağı doğru olarak belirlemiştir. F8 fonksiyonunda ise JADE 51 çalıştırmanın hiçbirinde doğru bir basamak belirleyememiştir. Tablo 3b de ise çalıştırma bütçesi artırılarak algoritma 1E+06 FES’lik bütçe ile çalıştırılmıştır. Algoritma; F1, F2 ve F6 fonksiyonlarında 51 çalıştırmanın hepsinde 10 basamağın tamamını doğru olarak hesaplamıştır. F3, F7, F8 fonksiyonlarında ise JADE sadece iki basamağı belirleyebilmiştir. F6 fonksiyonunda ise 51 çalıştırmanın büyük bir kısmında 4 ve 5 basamak belirlerken sadece üç tane çalıştırmada 10 basamak doğru olarak belirlemiştir. Son olarak Tablo 3c’de çalıştırma bütçesi daha da artırılarak 5E+06 olarak seçilmiştir. Bu bütçe ile JADE'nin daha iyi sonuçlar aldığı görülmektedir. Tablodaki değerlere göre, F1, F2, F4, F5, F6 ve

F10 fonksiyonlarında 10 puan olarak tam puan almıştır. Geri kalan fonksiyonlarda algoritma sadece F7’de 51 çalıştırmanın bir tanesinde 10 basamağın tamamını belirleyebilmiştir. F3’de ise algoritma sadece 1 basamağın değerini doğru olarak hesaplayabilmiştir. Bütçe artırılması, bu fonksiyon için algoritmanın arama yeteneğini geliştirememiştir.

Tablo 3. JADE algoritmasının 51 çalıştırmanın sonuçları.
(a)5E+05, (b)1E+06, (c)5E+06 fonksiyon çağırım sayısı için sonuçları göstermektedir.

Fonksiyonlar 5E+05 FES	Doğru basamak sayısı										Skor	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		10
f1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	10
f2	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	10
f3	48	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.08
f4	49	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.04
f5	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	4
f6	0	0	1	1	29	13	1	1	1	0	3	9.48
f7	49	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.04
f8	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
f9	0	49	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2.04
f10	18	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.28
Toplam:											36.96	

(a) 5E+05 FES

Fonksiyonlar 1E+06 FES	Doğru basamak sayısı										Skor	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		10
f1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	10
f2	7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	42	10
f3	48	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.08
f4	30	15	5	0	0	0	0	0	0	0	0	1
f5	0	0	45	2	1	0	1	0	0	0	1	4.64
f6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	10
f7	42	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.32
f8	48	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.08
f9	0	41	9	0	0	0	0	0	0	0	0	2.36
f10	29	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.84
Toplam:											39.32	

(b) 1E+06 FES

Fonksiyonlar 5E+06 FES	Doğru basamak sayısı										Skor	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		10
f1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	10
f2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49	10
f3	41	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.36
f4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	10
f5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	10
f6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	10
f7	3	26	17	1	1	0	0	0	1	0	1	3.4
f8	10	39	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1.64
f9	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	4
f10	9	3	0	0	0	0	0	0	0	0	38	10
Toplam:											69.4	

(c) 5E+06 FES

Tablo 4. ABC algoritmasının 51 çalıştırmanın sonuçları.
(a)5E+05, (b)1E+06, (c)5E+06 fonksiyon çağırım sayısı için sonuçları göstermektedir

Fonksiyonlar 5E+05 FES	Doğru basamak sayısı										Skor	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		10
f1	46	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2
f2	46	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.16
f3	0	39	2	6	3	0	0	0	0	0	0	2.92
f4	46	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.16
f5	0	0	34	10	1	0	3	1	0	1	0	5.44
f6	26	23	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
f7	44	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.24
f8	49	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.04
f9	0	11	39	0	0	0	0	0	0	0	0	3.56
f10	24	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.04
Toplam:											14.76	

(a) 5E+05 FES

Fonksiyonlar 1E+06 FES	Doğru basamak sayısı										Skor	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		10
f1	47	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.12
f2	46	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.16
f3	0	36	0	9	5	0	0	0	0	0	0	3.32
f4	48	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.08
f5	0	0	13	17	2	9	3	0	1	2	3	8.16
f6	15	33	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1.48
f7	46	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.16
f8	49	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.04
f9	0	3	47	0	0	0	0	0	0	0	0	3.88
f10	39	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.44
Toplam:											17.84	

(b) 1E+06 FES

Fonksiyonlar 5E+06 FES	Doğru basamak sayısı										Skor	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		10
f1	40	9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.44
f2	47	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.16
f3	0	12	3	11	23	1	0	0	0	0	0	5.92
f4	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
f5	0	0	0	13	2	2	8	3	3	3	16	10
f6	0	43	7	0	0	0	0	0	0	0	0	2.28
f7	42	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.32
f8	49	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.04
f9	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	4
f10	21	27	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1.24
Toplam:												24.4

(c) 5E+06 FES

Fonksiyonlar 5E+06 FES	Doğru basamak sayısı										Skor	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		10
f1	23	3	3	3	4	2	4	2	2	0	4	5.52
f2	49	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.04
f3	12	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.52
f4	46	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.16
f5	0	2	39	8	0	0	0	0	0	0	1	4.56
f6	9	19	0	0	0	0	0	0	0	0	22	9.56
f7	44	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.24
f8	44	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.24
f9	0	40	10	0	0	0	0	0	0	0	0	2.4
f10	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Toplam:												26.24

(c) 5E+06 FES

Tablo 5. DE algoritmasının 51 çalıştırmanın sonuçları.

(a)5E+05, (b)1E+06, (c)5E+06 fonksiyon çağırım sayısı için sonuçları göstermektedir.

Fonksiyonlar 5E+05 FES	Doğru basamak sayısı										Skor	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		10
f1	38	4	6	0	0	0	0	0	0	0	2	1.44
f2	47	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.12
f3	14	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.44
f4	47	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.12
f5	0	1	41	5	0	0	0	0	0	0	3	5.12
f6	11	13	0	0	0	0	0	0	0	0	26	10
f7	48	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.08
f8	48	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.08
f9	0	32	18	0	0	0	0	0	0	0	0	2.72
f10	0	49	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2.36
Toplam:												23.48

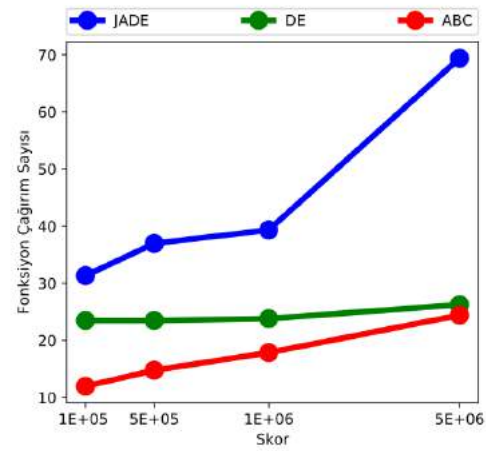
(a) 5E+05 FES

Fonksiyonlar 1E+06 FES	Doğru basamak sayısı										Skor	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		10
f1	35	8	4	2	0	0	0	0	0	0	1	1.28
f2	49	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.04
f3	8	42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.68
f4	45	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2
f5	0	0	39	8	0	0	0	0	0	0	3	5.28
f6	10	18	0	0	0	0	0	0	0	0	22	9.52
f7	45	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2
f8	49	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.04
f9	0	29	21	0	0	0	0	0	0	0	0	2.84
f10	0	48	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2.72
Toplam:												23.8

(b) 1E+06 FES

JADE'nin elde ettiği sonuçların test edilmesi için ABC ve DE algoritmaları da çalıştırılmış ve elde ettikleri sonuçlar kaydedilmiştir. Bu algoritmalar da JADE'ye uygulanan şartlar altında test edilmişlerdir. ABC'nin 1E+05, 5E+05, 1E+06 ve 5E+06 fonksiyon çağırım sayılarındaki sonuçları Tablo 4'de listelenmiştir. DE'nin sonuçları ise Tablo 5'de verilmiştir.

Şekil 1. JADE, DE ve ABC algoritmalarının fonksiyon çağırım sayısı ilerledikçe elde ettiği skor değerlerinin değişimi



JADE, DE ve ABC'nin farklı çağırım sayılarındaki skor değerleri özet olarak Şekil 1'de verilmiştir. Şekil incelenirse, bütün FES değerlerinde JADE algoritması ABC ve DE'ye göre daha iyi skorlar elde etmiştir. 5E+05 FES'de JADE 36.96'lık skor değeri ile birinci olmuştur. 1E+06 FES'de ise 39.32, 5E+06 FES'de ise 69.4 skor değeri olarak diğer algoritmaların önünde yer almıştır. Diğer iki algoritma birbirleri ile karşılaştırıldığında ise DE algoritması düşük FES değerlerinde elde ettiği daha iyi skorlar ile ABC'nin önünde yer alır. Ancak FES değeri artırıldıkça ABC algoritması iyileşmekte ve skor değeri DE'ye yaklaşmakta olduğu görülmektedir.

4. Sonuç

Bu çalışmada, uyarlanabilir bir DE algoritması varyantı olan JADE algoritması ile 100 basamak probleminin çözümü gerçekleştirilmiştir. Ayrıca bu problemin çözümü DE ve ABC ile

de gerçekleştirilerek bu algoritmaların bu problem setindeki davranışları incelenmiştir. Yapılan deneyler; düşük, orta ve yüksek fonksiyon çağırım sayısı olmak üzere üç farklı FES ile gerçekleştirilmiştir. Kullanılan FES değerleri; $5E+05$, $1E+06$ ve $5E+06$ 'dır. Düşük FES değeri ile yapılan deneylerde ABC, DE ve JADE birbirlerine yakın değerler almışlardır. FES değeri $5E+06$ 'ya çıktığında JADE 69.4'luk skor değeri olarak diğer algoritmalar ile arayı açmıştır. Yani FES değeri yükseldikçe JADE'nin gösterdiği performans da artmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar göstermiştir ki; bütün FES değerlerinde JADE algoritmasının elde ettiği skorlar, karşılaştırıldığı diğer algoritmalarından daha yüksek olmuştur. Bunun anlamı, JADE problem setindeki fonksiyonların global optimum değerlerini daha fazla sayıda doğru basamak sayısı ile hesaplayabilmiştir. Deneylerden çıkarılan bir diğer sonuç ise, ABC algoritması düşük FES değerlerinde en geride kalan algoritma olmuştur. Ancak FES değeri yükseldikçe ABC ikinci sıradaki algoritma olan DE'yi yakalamıştır. Yani, FES değeri yükseldikçe ABC'nin performansı iyileştiği söylenebilir. Buna karşın düşük, orta ve yüksek FES değerlerinin tamamında DE algoritmasının elde ettiği sonuçların birbirine yakın olduğu görülmüştür. FES değerinin yükselmesinin DE algoritma performansına bir katkısı olmamıştır.

İlerleyen çalışmalarda, JADE algoritmasına yeni stratejiler eklenerek algoritmanın performansı artırılabilir ve deneyler tekrar gerçekleştirilebilir. Ayrıca FES değeri daha da yükseltilebilir problem çözülebilir. Aynı zamanda farklı uyarlanabilir DE varyantları da deneylere dahil edilebilir.

Kaynakça

- Bogar, E., & Beyhan, S. (2020). Adolescent Identity Search Algorithm (AISA): A novel metaheuristic approach for solving optimization problems. *Applied Soft Computing Journal*, 95, 106503. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106503>
- Cai, Y., Sun, G., Wang, T., Tian, H., Chen, Y., & Wang, J. (2017). Neighborhood-adaptive differential evolution for global numerical optimization. *Applied Soft Computing Journal*, 59, 659–706. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2017.06.002>
- Çelik, Y., Yıldız, İ., & Karadeniz, A. T. (2019). Son Üç Yılda Geliştirilen Metasezgisel Algoritmalar Hakkında Kısa Bir İnceleme. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*. Osman SAĞDIÇ. <https://doi.org/10.31590/ejosat.638431>
- Fan, Q., & Zhang, Y. (2016). Self-adaptive differential evolution algorithm with crossover strategies adaptation and its application in parameter estimation. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 151, 164–171.
- Guo, S.-M., & Yang, C.-C. (2014). Enhancing differential evolution utilizing eigenvector-based crossover operator. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 19(1), 31–49.
- K. V. Price, N. H. Awad, M. Z. Ali, P. N. S. (2018). Problem Definitions and Evaluation Criteria for the 100-Digit Challenge Special Session and Competition on Single Objective Numerical Optimization, (November), 22. Tarihinde adresinden erişildi http://www.ntu.edu.sg/home/EPNSugan/index_files/CEC2019
- Karaboga, D. (2005). An idea based on honey bee swarm for numerical optimization.
- Karaboga, D., & Basturk, B. (2007). A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee colony (ABC) algorithm. *Journal of global optimization*, 39(3), 459–471.
- Kumar, S., Mandal, K. K., & Chakraborty, N. (2019). Optimal DG placement by multi-objective opposition based chaotic differential evolution for techno-economic analysis. *Applied Soft Computing*, 78, 70–83.
- Liao, T., Molina, D., & Stützle, T. (2015). Performance evaluation of automatically tuned continuous optimizers on different benchmark sets. *Applied Soft Computing Journal*, 27, 490–503. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2014.11.006>
- Liu, H., Cai, Z., & Wang, Y. (2010). Hybridizing particle swarm optimization with differential evolution for constrained numerical and engineering optimization. *Applied Soft Computing*, 10(2), 629–640.
- López-Ibáñez, M., Dubois-Lacoste, J., Pérez Cáceres, L., Birattari, M., & Stützle, T. (2016). The irace package: Iterated racing for automatic algorithm configuration. *Operations Research Perspectives*, 3, 43–58. <https://doi.org/10.1016/j.orp.2016.09.002>
- Lu, J., Zhou, X., Ma, Y., Wang, M., Wan, J., & Wang, W. (2019). A Novel Artificial Bee Colony Algorithm with Division of Labor for Solving CEC 2019 100-Digit Challenge Benchmark Problems. *2019 IEEE Congress on Evolutionary Computation, CEC 2019- Proceedings*, 1, 387–394. <https://doi.org/10.1109/CEC.2019.8790252>
- Özyön, S. (2020). Yenilenebilir Enerji Üretim Birimleri İçeren Çevresel-Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Yüklü Sistem Arama Algoritması ile Çözümü. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 81–90. <https://doi.org/10.31590/ejosat.669543>
- Pelusi, D., Mascella, R., Tallini, L., Nayak, J., Naik, B., & Deng, Y. (2020). Improving exploration and exploitation via a Hyperbolic Gravitational Search Algorithm. *Knowledge-Based Systems*, 193(xxxx), 105404. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2019.105404>
- Piotrowski, A. P. (2013). Adaptive memetic differential evolution with global and local neighborhood-based mutation operators. *Information Sciences*, 241, 164–194.
- Piotrowski, A. P. (2018). L-SHADE optimization algorithms with population-wide inertia. *Information Sciences*, 468, 117–141. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2018.08.030>
- Piotrowski, A. P., & Napiorkowski, J. J. (2018). Step-by-step improvement of JADE and SHADE-based algorithms: Success or failure? *Swarm and Evolutionary Computation*, 43(August 2017), 88–108. <https://doi.org/10.1016/j.swevo.2018.03.007>
- Price, K. V, Awad, N. H., Ali, M. Z., & Suganthan, P. N. (2018). Problem definitions and evaluation criteria for the 100-digit challenge special session and competition on single objective numerical optimization. İçinde Technical Report. Nanyang Technological University.

- Rahnamayan, S., Tizhoosh, H. R., & Salama, M. M. A. (2008). Opposition-Based Differential Evolution. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 12(1), 64–79. <https://doi.org/10.1109/TEVC.2007.894200>.
- Salgotra, R., Singh, U., Saha, S., & Nagar, A. (2019). New Improved SALSHADE-cnEpSin Algorithm with Adaptive Parameters. 2019 IEEE Congress on Evolutionary Computation, CEC 2019 - Proceedings, 3150–3156. <https://doi.org/10.1109/CEC.2019.8789983>
- Storn, R., & Price, K. (1995). Differential Evolution - A simple and efficient adaptive scheme for global optimization over continuous spaces. Technical report, International Computer Science Institute, 11(TR-95-012), 1–15. <https://doi.org/10.1023/A:1008202821328>
- Storn, Rainer, & Price, K. (1995). Differential evolution-a simple and efficient adaptive scheme for global optimization over continuous spaces (C. 3).
- Xu, P., Luo, W., Lin, X., Qiao, Y., & Zhu, T. (2019). Hybrid of PSO and CMA-ES for Global Optimization. 2019 IEEE Congress on Evolutionary Computation, CEC 2019 - Proceedings, 27–33. <https://doi.org/10.1109/CEC.2019.8789912>
- Ye, S., Dai, G., Peng, L., Wang, M., Sishi, Y., Guangming, D., Maocai, W. (2014). A hybrid adaptive coevolutionary differential evolution algorithm for large-scale optimization. *Evolutionary Computation (CEC)*, 2014 IEEE Congress on, 1277–1284. <https://doi.org/10.1109/CEC.2014.6900259>
- Yüzgeç, U., & Eser, M. (2018). Chaotic based differential evolution algorithm for optimization of baker's yeast drying process. *Egyptian Informatics Journal*, 19(3), 151–163. <https://doi.org/10.1016/j.eij.2018.02.001>
- Zhang, J., & Sanderson, A. C. (2009). JADE: adaptive differential evolution with optional external archive. *Evolutionary Computation, IEEE Transactions on*, 13(5), 945–958.
- Zhang, Z., Dong, Y., & Gao, T. (2016). A Hybrid Method Based on Cuckoo Search and Krill Herd Optimization with Differential Evolution. *Çinde 2016 13th Web Information Systems and Applications Conference (WISA)* (ss. 138–143).



Effect of Post-Harvest Drying Times on Chemical Components of Essential Oils of *Lavandula angustifolia* and *L. intermedia* Species

Çiğdem Kuş^{1*}, Mehmet Emin Duru²

^{1*} Muğla Sıtkı Koçman University, Faculty of Science, Department of Chemistry, Muğla, Turkey, (ORCID: 0000-0001-9235-1083), cigdem_kus@hotmail.com.tr

² Muğla Sıtkı Koçman University, Faculty of Science, Department of Science, Muğla, Turkey, (ORCID: 0000-0001-7252-4880), eminduru@mu.edu.tr

(First received 6 December 2020 and in final form 23 January 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.855500)

ATIF/REFERENCE: Kuş, Ç. & Duru, M. E.. (2021). Effect of Post-Harvest Drying Times on Chemical Components of Essential Oils of *Lavandula angustifolia* and *L. intermedia* Species. *European Journal of Science and Technology*, (21), 501-505.

Abstract

This study reported the chemical composition of essential oils of Lavender (*L. angustifolia* subs. *angustifolia*) and Lavandin (*Lavandula x intermedia* var. Super A). GC and GC/MS analyses were used for the identification of essential oils. The essential oils from fresh and air-dried aerial parts of Lavender and Lavandin were obtained by hydrodistillation method. In total, 49, 51, 50 and 40 constituents were identified and quantified in the essential oils of fresh and air-dried aerial parts of *L. angustifolia* and *L. intermedia* (fresh and air-dried aerial parts), respectively. The major components of essential oils of *L. angustifolia* (fresh), *L. angustifolia* (air-dried aerial parts), *L. intermedia* (fresh) and *L. intermedia* (air-dried aerial parts) were 1,8-cineole (12.65%, 10.15%, 12.74%, 2,28%), linalool (38.31%, 37.94%, 38.10%, 47.47%), camphor (13.74%, 12.52%, 7.61%, 6.67%), borneol (6.82%, 7.16%, 6.84%, 4.64%). While the 1,8 cineole (12.65%, 10.15%) concentration decreased with the post-harvest drying process, the linalyl acetate (1.02%, 2.80%) concentration increased in the essential oils of fresh and air-dried aerial parts of *L. angustifolia*. This study provides evidence that there is a change in essential oil components with post-harvest drying. Thus, it was concluded that the essential oil of the studied *Lavandula* species can be obtained by distillation of fresh and air-dried aerial plants after the harvest, considering the desired compound ratio.

Keywords: *Lavandula angustifolia*, *Lavanta intermedia*, Essential oil, Hydrodistillation

Hasat Sonrası Kuruma Sürelerinin *Lavandula angustifolia* ve *L. intermedia* Türlerinin Uçucu Yağlarının Kimyasal Bileşenleri Üzerindeki Etkileri

Öz

Bu çalışma, Lavanta (*L. angustifolia* subs. *angustifolia*) ve Lavandin (*Lavandula x intermedia* var. Super A) uçucu yağlarının kimyasal bileşimini rapor etmektedir. Uçucu yağların tanımlanmasında GC ve GC/MS analiz yöntemleri kullanıldı. Lavanta ve Lavandin'in taze ve hava ile kurutulmuş toprak üstü kısımlarından hidrodistilasyon yöntemi ile uçucu yağlar elde edildi. Toplamda, *L. angustifolia* (taze ve hava ile kurutulmuş toprak üstü kısımları) ve *L. intermedia*'nin (taze ve hava ile kurutulmuş toprak üstü kısımları) uçucu yağlarında sırasıyla 49, 51, 50 ve 40 bileşen tanımlandı ve miktarı belirlendi. *L. angustifolia* (taze), *L. angustifolia* (hava ile kurutulmuş toprak üstü kısımları), *L. intermedia* (taze) ve *L. intermedia*'nin (hava ile kurutulmuş toprak üstü kısımları) uçucu yağlarının ana bileşenleri 1,8-sineol (%12,65, %10,15, %12,74, %2,28), linalool (%38,31, %37,94, %38,10, %47,47), kafur (%13,74, %12,52, %7,61, %6,67), borneol (%6,82, %7,16, %6,84, %4,64)'dür. Hasat sonrası kurutma işlemi ile *L. angustifolia* 'nin taze ve hava ile kurutulmuş toprak üstü kısımlarının uçucu yağlarında 1,8 sineol (%12,65, %10,15) konsantrasyonu azalırken, linalil asetat (%1,02, %2,80) konsantrasyonu artmıştır. Bu çalışma, hasat sonrası kurutmayla birlikte uçucu yağ bileşenlerinde bir değişiklik olduğuna dair kanıt sağlamaktadır. Bu nedenle, bitkinin uçucu yağının, istenen bileşik oranı dikkate alınarak, hasattan sonra toprak üstü kısımlarının taze veya hava ile kurutulmuş şekilde damıtılmasıyla elde edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Lavandula angustifolia*, *Lavandula intermedia*, Uçucu yağ, Hidrodistilasyon

* Corresponding Author: xxxx@xxx.xx.xx

1. Introduction

Medicinal and aromatic plants have been used for a variety of purposes worldwide since ancient times [1,2,3]. Nowadays, essential oils are primarily used in cosmetic, pharmaceutical and food industries [4,5,6]. For this reason, plants that can produce essential oils have a strong position as economic products worldwide so the market of essential oils is growing in time [7]. The *Lavandula* genus, which belongs to the Labiatae (Lamiaceae) family and is one of the medicinal and aromatic plants, consists of over 39 species. Lavender flowers, leaves, and branches are used in widely herbal medicine, the cosmetic industry, and for culinary purposes [8,9]. Although *Lavandula* grows naturally in the Mediterranean region, it is grown commercially in several countries (e.g. France, Turkey, China, Bulgaria, Spain, the United States, United Kingdom, Australia, Portugal) mainly for essential oils. They are drought-resistant and need sunny, warm growing locations [7,10,11,12].

Essential oils obtained from most *Lavandula* species can be used in the cosmetic, pharmaceutical, and food industries [7,8,12,13]. Lavender (*Lavandula angustifolia*) and Lavandin (*Lavandula intermedia*) are the most important medicinal and aromatic plants. The lavender essential oil which contains more than a hundred compounds has two major compounds that are linalool and linalyl acetate. Other constituents include 1,8-cineole, α -pinene, *p*-cymene, camphor, lavandulol, camphene, lavandulyl acetate, *p*-caryophyllene, myrcene etc. According to the ISO 8902:2009a and ISO 3515:2002, constituents of Lavender and Lavandin have different standard values. These are linalool (25–38%), camphor (0.5–1.0%), linalyl acetate (25–45%) in lavender essential oil; linalool (24–35%), camphor (6–8%), linalyl acetate (28–38%), lavandin essential oil. While Lavandin yield more than Lavender, it has less commercial value [9,14]. Lavender essential oil is preferred by industrial fields such as perfumery, alternative medicine and cosmetics because of the low level of camphor and high linalool, linalyl acetate content, while Lavandin is used by cleaning industry in household cleaner products, detergents and pest control products because of the high level of camphor [8,15,16]. Essential oils are produced from different techniques [17,18] and the most preferred extraction methods are hydro- and steam distillation, which are inexpensive and easy to use. In this study, hydrodistillation was used to extract the essential oil from *L. angustifolia*, *L. intermedia*. *Lavandula* essential oil is also an important product due to its pharmacological properties and rich compounds, and it is promoted to be grown for oil production. In Turkey, the cultivation of *Lavandula* species has expanded considerably in recent years.

In this study, it was aimed to investigate the fresh and air-dried aerial parts of lavandin and lavender in terms of both essential oil yields and components. Components of essential oils obtained from fresh and dried lavender were compared qualitatively and quantitatively.

2. Material and Method

2.1. Plant Material

Plant materials of *Lavandula angustifolia* spp *angustifolia* “*Lavandula vera*” and *Lavandula x intermedia* var. Super A were added from Ula, Armutçuk/ Muğla, Turkey in July 2020. The spices were identified in Muğla Sıtkı Koçman University, Faculty of Science, Department of Molecular Biology and Genetics e-ISSN: 2148-2683

(voucher no MU1151 (for *L. Angustifolia* subs. *Angustifolia*) and MU1152 (for *Lavandula x intermedia* var. Super A). The plant materials were studied as fresh and air-dried aerial parts.

2.2. Drying Method

The aerial parts of *L. angustifolia* and *L. intermedia* harvested from the same field were air-dried in the shade for 7 days (average temperature 30 °C).

2.3. The Moisture Content of Herbal Drogs

The moisture content of the fresh and air-dried aerial parts of *L. angustifolia* and *L. intermedia* was determined in triplicate using a laboratory oven at 110 °C.

2.4. Analysis of Essential Oils

2.4.1. Gaz Chromatography (GC-FID)

GC-FID analysis was carried out using a DB-5 fused silica capillary non-polar column (30 m×0.25 ID., film thickness 0.25 µm). The detector (270 °C) and injector temperatures (250 °C) were adjusted. The Helium was used as carrier gas at a flow rate of 1.4 mL/min volume. The sample injection volume was 0.2 µL, split ratio of 20:1. Firstly oven temperature was programmed at 60 °C for 5 min. After that it was scaled up to 240 °C with 4 °C/min. The final temperature was maintained for 10 min. Components of essential oils were identified by comparing retention times (RT) and mass spectra with data from NIST 2008 and Willey libraries.

2.4.2. Gaz Chromatography/mass spectrometry (GC-MS).

GC/MS analyzes were performed using an ion trap MS spectrometer and a DB-5 MS fused silica non-polar capillary column (30 m × 0.25 mm ID, film thickness 0.25 µm). Helium was used as carrier gas at a flow rate of 1.4 mL/min. The injector (220 °C) and MS (290 °C) transfer line temperatures were set. The ion source temperature was 200 °C, the injection volume was 0.2 µL with a 1:20 partition ratio. EI-MS, was performed with electrons of 70 eV. The oven temperature was programmed to rise from 60 to 240 at a rate of 4 °C/min and held at this temperature for 10 min. The identification of the constituents of essential oils depends on their GC retention index and computer matching with Wiley, NIST-2008 and the TRILIB Library. The library, as well as the fragmentation patterns of mass spectra, compared with those reported in the literature [19,20,21].

3. Results and Discussion

In this study, the yield of essential oil of fresh and air-dried aerial parts of *L. intermedia* were 4.70% and 5.68% while *L. angustifolia* were 3.83% and 4.37% (Table 1.) Among the lavandin and lavender cultivars, the highest essential oil yield was obtained from *L. intermedia* in both fresh and air-dried aerial parts. It has been reported that different methods change the essential oil ratio and composition during production and after harvest [22]. In addition to the distillation method, it has been stated that the type of plant, the soil, the climatic conditions, the age of the plant, the harvest date and storage conditions affect the quality of essential oil [23,24,25]. According to previous researches by Kara and Baydar, the essential oil yield was determined 5.07% for dry stemless flower and 1.34% for fresh stem flower of *L. vera*. Moreover, it was determined essential oil ratio 1.49% for fresh of *L. intermedia* and 7.75% for dry stemless flower of *L. intermedia* [16]. While the yield of dry, stemless

flower essential oil was 7.1-9.9% in Lavandin species, it has been reported to vary between 2.8-5.0% in Lavander species [26]. In other study, essential oil yields from the different lavender samples were determined to have changed between 0.8-4 mL [27].

Table 1. The yield and moisture of essential oil in fresh and air-dried aerial parts of lavender and lavandin cultivars (%)

	Air-dried % (w/w) (dry weight)	Moisture %	Fresh % (w/w) (dry weight)	Moisture %
<i>L. angustifolia</i>	4.38	10.6	3.81	62.0
<i>L. intermedia</i>	5.68	10.4	4.53	57.6

The essential oils obtained from fresh and air-dried aerial parts of *L. angustifolia* and *L. intermedia* were analyzed using the GC and GC-MS techniques. The results are shown as relative percentages (%) and Kovats index of compounds in the Table 2. In total, 49, 51, 50 and 40 constituents were identified and quantified in LAF (*L. angustifolia*, fresh), LAD (*L. angustifolia*, air-dried), LIF (*L. intermedia* fresh), LID (*L. intermedia*, air-dried) respectively. It was determined that LAF and LAD contain 1,8-cineole (12.65%, 10.15%), linalool (38.31%, 37.94%), camphor

(13.74%, 12.52%), borneol (6.82%, 7.16%), terpinen-4-ol (10.20%, 8.65%) as main compounds while LIF and LID comprise 1,8-cineole (12.74%, 2.28%), linalool (38.10%, 47.47%), camphor (7.61%, 6.67%), borneol (6.84%, 4.64%), *a*-terpineol (6.50%, 8.28%), linalyl acetate (8.87%, 13.65%). When the essential oil components of fresh and dry drogs of both types are examined; While the amount of *a*-pinene, 1,8-cineole, terpinen-4-ol and camphor decreased in dry drogs, the amount of *a*-terpineol, nerol, linalyl acetate, geranyl acetate and β -terpenyl acetate increased. The same major compounds were reported in different studies. While linalool, camphor and 1,8-cineole were identified as the most important compounds in essential oil of LAF. Linalool, camphor, borneol, *a*-terpineol, linalyl acetate were stated in essential oil of LIF. The same major compounds have been determined in the essential oil of *L. angustifolia* [11,18,28] and *L. intermedia* [29,30].

Our results showed that the essential oil fresh and air-dried parts of *L. angustifolia* contains monoterpene hydrocarbons (5.4;6.19%), monoterpenoids (89.4;88.65%), sesquiterpene hydrocarbons (1.63;1.10%), sesquiterpenoids (0.1;0.52%) while *L. intermedia* contains monoterpene hydrocarbons (3.83;1.56%), monoterpenoids (89.85;95.02%), sesquiterpene hydrocarbons (1.32;0.77%), sesquiterpenoids (2.39;1.28%) (Table 2).

Table 2. Chemical composition of the essential oils of fresh and, air-dried aerial parts of *L. angustifolia* and *L. intermedia*

Nu	Compounds ^a	LAF (% ^b)	LAD (% ^b)	LIF (% ^b)	LID (% ^b)	RI ^c	Identification Methods ^d
1	Isohexanol	0.20	0.18	0.06	tr	842	MS, RI
2	α -Thujene	0.20	0.17	Nd	Nd	924	Co-I; MS, RI
3	α -Pinene	0.98	0.8	0.43	0.08	928	Co-I; MS, RI
4	Camphene	0.61	0.57	0.38	0.13	940	Co-I; MS, RI
5	Sabinene	tr	0.53	0.48	Nd	956	Co-I; MS, RI
6	Fenchene	0.22	0.17	0.22	Nd	958	Co-I; MS, RI
7	1-Octen-3-ol	tr	0.12	Nd	Nd	961	Co-I; MS, RI
8	3-Octanone	0.28	0.32	0.63	0.41	964	Co-I; MS, RI
9	β -Pinene	0.57	0.68	1.33	0.59	969	Co-I; MS, RI
10	Butyl butyrate	0.07	0.1	0.11	tr	979	MS, RI
11	α -Phellandrene	0.04	0.06	0.04	Nd	996	Co-I; MS, RI
12	3-Carene	0.21	0.16	0.2	Nd	1000	Co-I; MS, RI
13	Hexyl acetate	0.43	0.45	0.22	0.43	1007	MS, RI
14	α -Terpinene	0.12	0.13	0.05	Nd	1012	Co-I; MS, RI
15	<i>p</i> -Cymene	0.48	0.33	0.2	tr	1015	Co-I; MS, RI
16	Limonen	1.03	1.51	Nd	0.35	1019	Co-I; MS, RI
17	1,8-Cineole	12.65	10.15	12.74	2.28	1023	Co-I; MS, RI
18	<i>trans</i> - β -Ocimene	1.5	1.6	1.25	0.62	1027	Co-I; MS, RI
19	<i>Cis</i> - β -Ocimen	0.36	0.74	tr	1.14	1035	Co-I; MS, RI
20	γ -Terpinene	0.35	0.34	0.1	Nd	1041	Co-I; MS, RI
21	<i>Cis</i> -linalool oxide	0.26	0.3	0.02	0.28	1060	Co-I; MS, RI
22	Terpinolen	0.59	0.74	0.6	0.41	1080	Co-I; MS, RI
23	Linalool	38.31	37.94	38.1	47.47	1092	Co-I; MS, RI
24	6-Camphenenol	0.07	tr	0.05	tr	1108	MS, RI
25	Allo-Ocimene	0.08	0.08	0.06	0.03	1110	Co-I; MS, RI
26	Camphor	13.74	12.52	7.61	6.67	1113	Co-I; MS, RI
27	Hexyl isobutyrate	0.24	0.23	0.17	0.13	1131	MS, RI
28	Lavandulol	1.33	1.22	0.21	0.22	1140	MS, RI
29	Borneol	6.82	7.16	6.84	4.64	1147	Co-I; MS, RI
30	Terpinen-4-ol	10.2	8.65	0.34	0.17	1159	Co-I; MS, RI

Nu	Compounds ^a	LAF (% ^b)	LAD (% ^b)	LIF (% ^b)	LID (% ^b)	RI ^c	Identification Methods ^d
31	Cryptone	0.1	0.15	0.65	0.3	1161	MS, RI
32	Hexyl butyrate	1.46	1.19	Nd	Nd	1171	MS, RI
33	<i>a</i> -Terpineol	1.42	2.48	6.5	8.28	1177	Co-I; MS, RI
34	Nerol	0.08	0.22	0.75	1.16	1208	Co-I; MS, RI
35	Bornyl formate	0.1	0.13	0.23	0.18	1211	MS, RI
36	Hexyl valerate	0.37	0.4	0.18	0.12	1235	MS, RI
37	<i>p</i> -Cumic aldehyde	0.07	0.1	0.22	0.11	1237	MS, RI
38	Linalyl acetate	1.02	2.8	8.87	13.65	1242	Co-I; MS, RI
39	Neryl acetate	0.78	1.21	2.19	2.84	1336	Co-I; MS, RI
40	Undecanol	0.21	0.24	0.3	0.26	1351	Co-I; MS, RI
41	Geranyl acetate	0.08	0.3	1.08	1.65	1358	Co-I; MS, RI
42	β -Terpenyl acetate	0.16	0.54	1.93	2.89	1367	MS, RI
43	Hexyl caproate	0.2	0.25	0.04	Nd	1373	MS, RI
44	β -Caryophyllene	0.36	0.32	0.82	0.57	1415	Co-I; MS, RI
45	β -Farnesene	1.13	0.67	0.3	Nd	1428	Co-I; MS, RI
46	Linalyl butyrate	0.06	0.07	0.09	0.27	1432	
47	Germacrene D	0.14	0.11	0.2	0.2	1472	Co-I; MS, RI
48	Geranyl propionate	0.28	0.29	0.17	0.17	1481	MS, RI
49	α -Cadinene	Nd	Nd	0.24	Nd	1504	MS, RI
50	δ -Cadinene	Nd	Nd	0.19	Nd	1513	Co-I; MS, RI
51	Caryophyllene oxide	0.1	0.17	0.26	0.13	1561	Co-I; MS, RI
52	<i>tau</i> -Cadinol	Nd	0.11	0.88	0.07	1616	Co-I; MS, RI
53	α -Cadinol	Nd	Nd	0.23	Nd	1631	MS, RI
54	<i>a</i> -Bisabolol	Nd	0.24	1.25	1.08	1649	Co-I; MS, RI
	Monoterpene hydrocarbons	5.4	6.2	4.0	1.6		
	Monoterpenoids	89.4	88.7	89.9	95.0		
	Sesquiterpene hydrocarbons	1.6	1.1	1.8	0.8		
	Sesquiterpenoids	0.1	0.5	2.6	1.3		
	Others	3.5	3.5	1.7	1.4		
	Total identified (%)	100.0	100.0	100.0	100.0		
	Total number of compounds	49	51	50	40		

^a Compounds are listed in the order of their elution from a DB-5 fused silica column. ^b Percentage concentration. ^c Retention index on DB-5 fused silica column. ^d Identification methods: Co-I; Co-injection: based on comparison with authentic compounds; MS: based on comparison with WILEY, ADAMS and NIST 08 MS databases; RI: based on comparison of calculated with those reported in ADAMS and NIST 08, Nd: not detected, tr: trace

4. Conclusions and Recommendations

In this study, the changes in the chemical components of essential oils obtained in fresh and dry form from two *Lavandula* species cultured in the same field and under the same ecological conditions were investigated. It was determined that some compounds of the essential oil changed quantitatively depending on whether the herbal drug was fresh or dried. It was also revealed that the way of harvesting affects the essential oil yield. With this study, the qualitative and quantitative results of essential oils of lavender varieties will guide scientific studies in the industrial field.

5. Acknowledge

Lavandula angustifolia and *L. intermedia* were obtained from EGET (Education, Geriatrics, Ecological Agriculture, Tourism) Foundation Commercial Enterprise in 2020. (<https://www.eget.org.tr/isletme/EGET-isletme/Armutcuk>)

References

- [1] Mercan, N., Duru M. E., Turkoglu, A., Gezer, K., Kivrak, İ. & Turkoglu, H., (2006). Antioxidant and antimicrobial properties of ethanolic extract from *Lepista nuda* (Bull.)
- [2] Goktas, O., Mammadov, R., Duru, M. E., Ozen, E., & Colak, A. M. (2007). Application of extracts from the poisonous plant, *Nerium Oleander L.*, as a wood preservative. *African Journal of Biotechnology*, 6(17), 2000-2003. <http://www.academicjournals.org/AJB>
- [3] Duru, M. E., Cakir, A., & Harmandar, M. (2002). Composition of the volatile oils isolated from the leaves of *Liquidambar orientalis* Mill. var. *orientalis* and *L. orientalis* var. *integriloba* from Turkey. *Flavour and fragrance journal*, 17(2), 95-98. <https://doi.org/10.1002/ffj.1050>.
- [4] Bernardini, S., Tiezzi, A., Laghezza Masci, V., & Ovidi, E. (2017). Natural products for human health: an historical overview of the drug discovery approaches. *Natural product research*, 32(16), 1926-1950 <https://doi.org/10.1080/14786419.2017.1356838>
- [5] Kuş, Ç., Taş, M., Küçükaydın, S., Tel-Çayan, G., & Duru, M. E. (2019). Chemical analysis and in vitro antioxidant and anticholinesterase activities of essential oils and extracts from different parts of *Erica manipuliflora*. *Marmara Pharmaceutical Journal*, 23(6) 1098-1105. <http://dx.doi.org/10.35333/jrp.2019.74>
- [6] Altıparmak, M., Kule, M., Öztürk, Y., Çelik, S. Y., Öztürk, M., Duru, M. E., & Koçer, U. (2019). Skin wound healing

- properties of *Hypericum perforatum*, *Liquidambar orientalis*, and propolis mixtures. *European Journal of Plastic Surgery*, 42(5), 489-494
<https://doi.org/10.1007/s00238-019-01538-6>
- [7] Détár, E., Németh, É. Z., Gosztola, B., Demján, I., & Pluhár, Z. (2020). Effects of variety and growth year on the essential oil properties of lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.) and lavandin (*Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel.). *Biochemical Systematics and Ecology*, 90, 104020. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2020.104020>.
- [8] Lis-Balchin, M. (Ed.). (2002). *Lavender: the genus Lavandula*. CRC press.
- [9] Kıvrak, Ş. (2018). Essential oil composition and antioxidant activities of eight cultivars of Lavender and Lavandin from western Anatolia. *Industrial Crops and Products*, 117, 88-96. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.02.089>.
- [10] Weiss, E. A. (1997). *Essential oil crops*. Cab International. New York, N.Y
- [11] Verma, R. S., Rahman, L. U., Chanotiya, C. S., Verma, R. K., Chauhan, A., Yadav, A., ... & Yadav, A. K. (2010). Essential oil composition of *Lavandula angustifolia* Mill. cultivated in the mid hills of Uttarakhand, India. *Journal of the serbian chemical society*, 75(3), 343-348. <https://doi.org/10.2298/JSC090616015V>
- [12] Adam, K. L. (2006). Lavender production, products, markets, and entertainment farms. Retrieved November, 5, 2006. <https://naturalingredient.org/wp-content/uploads/lavender.pdf>
- [13] Wells, R., Truong, F., Adal, A. M., Sarker, L. S., & Mahmoud, S. S. (2018). Lavandula essential oils: a current review of applications in medicinal, food, and cosmetic industries of lavender. *Natural Product Communications*, 13(10), 1934578X1801301038. <https://doi.org/10.1177/1934578X1801301038>
- [14] ISO 3515:2002, 2002. Oil of Lavender (*Lavanta Angustifolia* Mill.) Standard.
- [15] Baydar, H., & Kineci, S. (2009). Scent composition of essential oil, concrete, absolute and hydrosol from lavandin (*Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel.). *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 12(2), 131-136. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2009.10643702>
- [16] Kara N. & BAYDAR, H. (2013). Determination of Lavender and Lavandin Cultivars (*Lavandula* sp.) Containing high quality essential oil in Isparta, Turkey. *Turkish Journal of Field Crops*, 18(1), 58-65.
- [17] Hassanein, H. D., El-Gendy, A. E. N. G., Saleh, I. A., Hendawy, S. F., Elmissiry, M. M., & Omer, E. A. (2020). Profiling of essential oil chemical composition of some Lamiaceae species extracted using conventional and microwave-assisted hydrodistillation extraction methods via chemometrics tools. *Flavour and Fragrance Journal*, 35(3), 329-340. <https://doi.org/10.1002/ffj.3566>
- [18] Kirimer, N., Mokhtarzadeh, S., Demirci, B., Goger, F., Khawar, K. M., & Demirci, F. (2017). Phytochemical profiling of volatile components of *Lavandula angustifolia* Miller propagated under in vitro conditions. *Industrial Crops and Products*, 96, 120-125. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.11.061>
- [19] Adams, R. P. (2012). *Identification of essential oils by ion trap mass spectroscopy*. Academic press.
- [20] Swigar A. & Silverstein R.M., (1981). Monoterpenes: Infrared, Mass, 1H NMR and 13C NMR Spectra, and Kovats Indices, Aldrich Chemical Company, Inc., Milwaukee, Wisconsin, 1981.
- [21] Deveci, E., Tel-Çayan, G., & Duru, M. E. (2018). Essential Oil Composition, Antioxidant, Anticholinesterase and Antityrosinase Activities of Two Turkish Plant Species: *Ferula elaeochytris* and *Sideritis stricta*. *Natural Product Communications*, 13(1), 1934578X1801300130. <https://doi.org/10.1177/1934578X1801300130>
- [22] Erbaş, S., & Baytar, H. (2008). Effects of harvest time and drying temperature on essential oil content and composition in lavandin (*Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel.). *Turkish Journal Of Field Crops*, 13(1), 24-31. <https://dergipark.org.tr/en/pub/tjfc/issue/17132/179196>.
- [23] Zagorcheva, T., Stanev, S., Rusanov, K., & Atanassov, I. (2013). Comparative GC/MS analysis of lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.) inflorescence and essential oil volatiles. *Agricultural Science & Technology (1313-8820)*, 5(4), 459-462.
- [24] Kara, N., & Baydar, H. (2012). Essential oil contents and composition of lavenders and lavandins cultivated in Turkey. *Research on Crops*, 13(2), 675-681.
- [25] Lakušić, B., Lakušić, D., Ristic, M., Marčetić, M., & Slavkovska, V. (2014). Seasonal variations in the composition of the essential oils of *Lavandula angustifolia* (Lamiaceae). *Natural product communications*, 9(6), 1934578X1400900635. <https://doi.org/10.1177/1934578X1400900635>
- [26] Renaud, E. N., Charles, D. J., & Simon, J. E. (2001). Essential oil quantity and composition from 10 cultivars of organically grown lavender and lavandin. *Journal of essential oil research*, 13(4), 269-273. <https://doi.org/10.1080/10412905.2001.9699691>
- [27] Lemberkovics Véghe, A., Bencsik, T., Molnár, P., Böszörményi, A., , É., Kovács, K., ... & Horváth, G. (2012). Composition and antipseudomonal effect of essential oils isolated from different lavender species. *Natural product communications*, 7(10), 1934578X1200701039. <https://doi.org/10.1177/1934578X1200701039>.
- [28] Mirjalili, M. H., Salehi, P., Vala, M. M., & Ghorbanpour, M. (2019). The effect of drying methods on yield and chemical constituents of the essential oil in *Lavandula angustifolia* Mill. (Lamiaceae). *Plant Physiology Reports*, 24(1), 96-103. <https://doi.org/10.1007/s40502-019-0438-4>
- [29] Ortiz-de Elguea-Culebras, G., Berruga, M. I., Santana-Méridas, O., Herraiz-Peñalver, D., & Sánchez-Vioque, R. (2017). Chemical Composition and Antioxidant Capacities of Four Mediterranean Industrial Essential Oils and Their Resultant Distilled Solid By-Products. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 119(12), 1700242. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201700242>
- [30] Carrasco, A., Martínez-Gutiérrez, R., Tomas, V., & Tudela, J. (2016). Lavandin (*Lavandula x intermedia* Emeric ex Loiseleur) essential oil from Spain: determination of aromatic profile by gas chromatography–mass spectrometry, antioxidant and lipoxygenase inhibitory bioactivities. *Natural Product Research*, 30(10), 1123-1130. <https://doi.org/10.1080/14786419.2015.1043632>



Sıcak-Dövme Döküm Malzemelerin Performans Özelliklerini İyileştirmeye Yönelik Kaplama Koşullarının Karşılaştırılması

Adife Şeyda Yargıç^{1*}, Bünyamin Eren², Nurgül Özbay³

^{1*} Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Bilecik, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8671-5896), seyda.guler@bilecik.edu.tr

² Uzman Kataforez Yüzey Kaplama San. ve Tic. A.Ş., Bursa, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5109-1462), bunyamineren@uzmankataforez.com.tr

³ Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Bilecik, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0666-3417), nurgul.ozbay@bilecik.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 7 Aralık 2020 ve Kabul Tarihi 31 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.836802)

ATIF/REFERENCE: Yargıç, A.Ş., Eren, B. & Özbay, N. (2021). Sıcak-Dövme Döküm Malzemelerin Performans Özelliklerini İyileştirmeye Yönelik Kaplama Koşullarının Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 506-517.

Öz

Bu çalışmanın amacı, otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan iki adet sıcak-dövme döküm malzeme (F899 ve F990) üzerine ekonomik iki tür kaplamanın (Zn+kataforez) birlikte uygulanması ile düşük mikronlarda, korozyon performansı yüksek döküm parçalar üretilmesidir. Çalışma kapsamında, F899 ve F990 üzerine öncelikle alkali Zn/Zn-Fe/Zn-Ni, asitli Zn/Zn-Ni ortamda 12-15 µm çinko kaplama, ardından 20-25 µm kataforez kaplama yapılmıştır. Sıcak-dövme döküm parçaların karakterize edilmesi amacıyla mürekkep, hogabom, şok, pull-off adhezyon, su direnci, tuz sisi, taş çarpma, çevrimsel korozyon ve scab korozyon performansı testleri uygulanmıştır. Ayrıca, x-ışını kırınım laminografi (xdl) cihazında Zn kaplama kalınlık ölçümü yapılmış ve taramalı elektron mikroskopunda da fosfat kristal görünümü alınmıştır. Pull-off adhezyon testinde, malzemelerin 263-493 psi aralığında değişen kopma mukavemetine sahip oldukları belirlenmiştir. Sıcak-dövme döküm malzemelerin karakterizasyon sonuçlarına göre; alkali Zn/Zn-Fe/Zn-Ni kaplamalar üzerine kataforez kaplamanın istenilen performans ve korozyon dayanımı sağlamadığı; ancak asitli Zn/Zn-Ni kaplamalar üzerine kataforez kaplanan malzemelerin uygun korozyon performansı sağladığı belirlenmiştir. Sonuç olarak, kaplama şartları değiştirilerek istenilen özelliklerde düşük maliyetli kaplama işleminin gerçekleştirilebileceği ispatlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Alkali/asitli çinko kaplama, Kataforez kaplama, Korozyon performansı, Sıcak-dövme döküm malzemeler.

Comparison of Coating Conditions for Improving Performance Properties of Hot-Forged Casting Materials

Abstract

This study aims to produce cast parts with high corrosion performance at low micron by applying two types of economical coatings (zinc+cataphoresis) on two hot-forged cast materials (F899 and F990) widely used in the automotive industry. Within the scope of the study, 12-15 µm zinc coating in alkaline Zn/Zn-Fe/Zn-Ni, acidic Zn/Zn-Ni was applied on F899 and F990, followed by 20-25 µm cataphoresis coating. In order to characterize hot-forged cast parts, ink, hogabom, shock, pull-off adhesion, water resistance, salt fog, stone impact, cyclic corrosion, and scab corrosion performance tests were applied. Besides, Zn coating thickness was measured in the x-ray diffraction laminography (xdl) device, and phosphate crystal images were obtained in the scanning electron microscope. In the pull-off adhesion test, it was determined that the materials had a tensile strength ranging from 263-493 psi. According to the characterization results of hot-forged cast materials; it was determined that cataphoresis coating on the alkaline Zn/Zn-Fe/Zn-Ni coatings did not provide the desired performance and corrosion resistance, but materials coated with cataphoresis on the acidic Zn/Zn-Ni coatings provided appropriate corrosion performance. As a result, it has been proven that low-cost coating can be achieved with desired properties by changing the coating conditions.

Keywords: Alkaline/acidic zinc coating, Cataphoresis coating, Corrosion performance, Hot-forged cast materials.

* Sorumlu Yazar: seyda.guler@bilecik.edu.tr

1. Giriş

Kataforez kaplama otomotiv ana sanayisinde ilk kat (astar) olarak metal yüzeye uygulanmaktadır. Bununla beraber kataforez kaplama otomotiv yan sanayilerinin gelişmesiyle birlikte yaygınlaşmış olup, fason üretim olarak da çeşitli hacim boyutlarında (1 ton-500 ton) çalışılmaktadır. 2000'li yıllardan sonra, otomotiv sektörü dışında beyaz eşya, mobilya, savunma, genel endüstri, tarım ekipmanları gibi sanayilerde de kataforez kaplama aktif olarak her geçen gün kapasite artırılarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu kaplama yöntemi metal parçaları korozyona karşı korumada en etkili sistem olmakla beraber parça ömrünün de uzamasını sağlamaktadır (Lawrance, 1963).

Çinko kaplamalar, birçok yapısal ve genel mühendislik uygulamalarında malzemelerin korozyondan korunması için sıklıkla kullanılmaktadır. Bu kaplamalar iyi bir korozyon direnci göstermesinin yanı sıra malzeme üzerinde iyi mekanik özellikler göstermekte, kaynak yapılmasına olanak sağlamakta ve boyanabilmektedir. Öte yandan, yüksek çözünme hızı çinko kaplamaların kullanımını kısıtlamaktadır. Çinko kaplamaların kullanım ömrü, fosfatlama, üç değerlikli krom pasivasyonu ve silisleme prosesleri gibi pasivasyon süreçleri ile uzatılabilmektedir. Çinko korozyon dirençlerinin özellikleri; Ni, Co, Sn ve Cr gibi geçiş metalleriyle birlikte alaşımlandırılarak önemli ölçüde iyileştirilebilmektedir (Ganesan vd., 2014; Zaki, 1993).

Döküm parçalar yüksek akım verimli elektrolitik asitli çinko kaplamalar ile kaplanabilmektedir, ancak asitli çinko kaplamaların korozyon dirençleri alkali çinko kaplamalardan daha düşüktür. Yılmaz (2013) yaptığı çalışmada, döküm ve zamak parçalar üzerine hem akım verimi hem de korozyon dayanımı yüksek bir kaplama yapmayı amaçlamıştır. Elektronegativite farkından dolayı; yapısında ağırlıkça %12-16 arasında nikel içeren çinko nikel alaşım kaplamaların, yapısında %100 oranında çinko içeren kaplamalara kıyasla 8 kat daha yüksek korozyon dayanımına sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu nedenle asitli çinko nikel alaşım kaplamaların yüksek akım veriminden dolayı parçanın her bölgesini iyi kaplayabilme yeteneğine ve yüksek korozyon dayanımına sahip oldukları belirlenmiştir (Yılmaz, 2013). Bir başka çalışmada, parçadan beklenen özellikler ve kullanım yerine göre nikel, krom, çinko, kalay, bakır, soy metal kaplama ve NiCo, Ni-W vb. alaşım kaplama yöntemlerinden en uygun olanının seçimi gerçekleştirilmiştir. Çinkonun elektrokimyasal özelliği ve ekonomik olması çinko kaplamaların, çeliğin korozyona karşı korunmasındaki kullanımını yaygınlaştırmıştır (Uyanık, 2012). Çinko-alüminyum alaşımlarından üretilen döküm parçalarının yüzeyine yapılan elektrokimyasal kaplamaların, parça yüzeyine iyi yapışması için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Ara katman olarak elektrolitik bakır kaplama bu amaçla sıkça tercih edilmektedir. Polat vd. (2013) yaptıkları çalışmada, ara katman uygulamalarında en sık kullanılan asidik ve siyanürlü alkali bakır filmlerinin özelliklerini incelemiş; çinko-alüminyum alaşımlarından üretilen döküm parçalarının üzerine bakır ara katmanı atıldıktan sonra farklı kaplamalar (krom, nikel, lak) uygulanarak elde edilen sekiz adet ürünün (kapı kolu) korozyon davranışını, ASTM B117 standartlarına uygun olarak test etmiştir. Fujita ve Mizuno (2007), otomobillerde çinko ve çinko alaşımı kaplı çelik sacların perforasyon korozyonuna etkisini ve hızlandırılmış korozyon test yöntemlerini incelemiştir. Bindirmeli panellerin çatlaklarında korozyonu etkileyen ana

faktörün, kaplama tipinden çok çinko ve çinko alaşımlarının kaplama ağırlıkları olduğunu bildirmiştir. Nadir toprak metalleri (NTM) ilavesinin (ağırlıkça %0,05-0,5 aralığında) sıcak daldırma galvanizli çeliğin yüzey morfolojisi ve korozyon direncine etkisinin incelendiği bir çalışmada, erimiş çinko galvanizleme banyosuna küçük miktarlarda NTM eklenmesinin korozyon direncini geliştirdiği belirlenmiştir (Amadeh vd., 2002). Ramanauskas vd. (1997) alkali banyolarda çökeltilebilir kromsuz Zn, Zn-Co, Zn-Fe ve Zn-Ni kaplamalar için kristalografik doku ve latis hücre parametrelerini belirleyerek, havalandırılmış klorür çözeltilerinde ve nötr tuz püskürtme testlerinde kaplamaların korozyon davranışlarında gözlenen farklılıkları ortaya koymuştur. Çinko matrisinde nikel veya kobalt varlığının Zn kaplama korozyon direncini arttırdığı, ancak demirin etkisinin bulunmadığı belirlenmiştir.

Günümüzde, toz boyaların yüksek mikronlarda üretilmesi hem maliyet açısından hem de montaj sırasında ekstra işçilik gereksiniminden dolayı zor bir kaplama sürecini gerektirmektedir. Bununla birlikte, çinko-lamelli kaplama, fosfat kaplama, çinko kaplama ve kataforez kaplama tek başına uygulandığında istenilen korozyon performansı elde edilememektedir. Kataforez kaplama ile çok kompleks parçalar kaplanabildiği için sanayide çok geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Yukarıda belirtilen nedenlere ek olarak, 2010 yılından sonra otomotiv sektöründe kilit menteşe grupları, bağlantı elemanları ve akü bağlantı elemanları gibi parçalarda yüksek korozyon direnci, yüksek kimyasal dirençten dolayı yeni bir kaplama yönteminin geliştirilmesine ilişkin araştırmalar da bu çalışmanın gerçekleştirilmesine öncü olmuştur (Kılınç, 2019). Bu çalışmanın literatürde yer alan diğer çalışmalar farkı; en iyi yöntem olarak kataforez kaplamanın yüksek korozyon, yapışma, penetrasyon gibi özellikleriyle birlikte çinko alaşımlı kaplamanın kimyasal direnç, sürtünme katsayısı, ince ve homojen kaplama kalınlığı gibi özelliklerinin bir araya getirilmesidir.

2. Materyal ve Metot

Otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan F899 ve F990 sıcak-dövme döküm malzemelerin çinko ve kataforez kaplama süreçleri ile malzemelerin karakterizasyon yöntemleri bu bölümde açıklanmıştır. Çinko ve kataforez kaplama prosesleri Uzman Kataforez Yüzey Kaplama San. ve Tic. A.Ş. firmasında uygulanan daldırma yöntemli proseslerdir. Çinko kaplama prosesi genel olarak yağ alma (alkali-asidik-ultrasonik-elektirikli), nötürleme, durulama, çinko kaplama ve kurutma banyolarından oluşmaktadır. Kataforez kaplama prosesi genel olarak yağ alma (alkali), durulama, aktivasyon, fosfat, pasivasyon, deiyonize durulama, kataforez kaplama, ultrafiltrasyon durulama banyolarından ve kirlenme fırından oluşmaktadır.

2.1. Yüzey Temizliği ve Hazırlanması

Kaplama öncesi yapılan yağ alma işlemi kumlama yapılacak olan parçaların üzerindeki yağların alınıp daha iyi kumlama işlemine olanak sağlanması için yapılmıştır. Mekanik bir temizleme yöntemi olan kumlama işlemi; metal yüzeyde kalabilecek tüm kimyasalların, metal çapaklarının ve daha öncesinde oluşabilecek pasların sökülerek, yüzeyin kaplamaya uygun bir hale getirilmesi için kullanılır. Numunelere alkali çinko, alkali çinko-demir, alkali çinko-nikel, asitli çinko ve asitli çinko-nikel kaplama öncesi yağ alma ve kumlama işlemi

uygulanmıştır. Bu işlemlere ait teorik parametreler Tablo 1’de verilmiştir (Ekinoks Kimya Cleanox 1972 TDS, 2018; Uzman Kataforez Yüzey Kaplama San. Ve Tic. A.Ş., 2019).

Tablo 1. Yağ alma ve kumlama çalışma parametreleri

İşlem	Parametre	Teorik
Sıcak yağ alma	Süre (dk.)	1-30
	Sıcaklık (°C)	50-85
	Konsantrasyon (%ml)	3-10
Kumlama	Süre (dk.)	≥10

2.2. Çinko ve Kataforez Kaplama Prosesleri

Yağ alma ve kumlama işlemine tabi tutulan parçalara 12 -15 µm aralığında alkali çinko, alkali çinko-demir, alkali çinko-nikel, asitli çinko ve asitli çinko-nikel kaplama işlemi yapılmıştır. Çinko ve alaşımları kaplanacak parçalar öncelikle parçaya özgü kanca kısımları hariç plastik kaplı özel askılara asılarak parça için oluşturulan reçeteye göre üretime alınmakta, sırasıyla belirlenen banyo sürelerine göre otomasyon sistemi yardımıyla banyolara daldırılarak kaplama işlemi gerçekleştirilmektedir. Çinko-esaslı kaplama işlemleri için kullanılacak parametrelerin teorik değerleri Tablo 2-3’de verilmiştir (Ekinoks Kimya Alukleen CV TDS, 2017; Ekinoks Kimya Cleanox E TDS, 2019; Eser Kimya ES/FE 36 TDS, 2017; Eser Kimya ES/F1 TDS, 2017; Eser Kimya ES/RKR TDS, 2018; Eser Kimya ES/RKR-NI TDS, 2018; Eser Kimya ES/ZN-NI Plus TDS, 2017; Uzman Kataforez Yüzey Kaplama San. Ve Tic. A.Ş., 2019).

Tablo 2. Çinko kaplama prosesi genel hatları için teorik çalışma parametreleri

İşlem	Parametre	Teorik
Elektrikli Yağ Alma	Süre (dk.)	1-20
	Sıcaklık (°C)	50-80
	Konsantrasyon (%ml)	%4-6
	Akım Yoğunluğu (A/dm ²)	3-5
Ultrasonik Yağ Alma	Süre (dk.)	1-20
	Sıcaklık (°C)	50-80
	Konsantrasyon (%ml)	%4-6
Asidik Yağ Alma	Süre (dk.)	5-15
	Konsantrasyon (%ml)	10-30
Nötürleme	Süre (dk.)	10-30
	pH	4-6
Çeşitli Çinko Kaplama Prosesleri	Parametreler	-
Nötürleme	Süre (dk.)	5-60
	pH	1-2
Hava Üfleme	Süre (dk.)	Min. 1
Kurutma Fırını	Süre (dk.)	3-15
	Sıcaklık (°C)	50-110

Tablo 3. Çinko kaplama yöntemlerine ait teorik çalışma parametreleri

İşlem	Parametre	Teorik
Alkali Çinko Kaplama	Süre (dk.)	1 µm için min. 3 dk.
	Sıcaklık (°C)	20-40
	Çinko (gr/L)	8-15
	Kostik(gr/L)	110-150
	Akım (A/dm ²)	1-5
Alkali Çinko Demir Kaplama	Süre (dk.)	1 µm için min. 3 dk.
	Sıcaklık (°C)	20-30
	Çinko (gr/L)	8-12
	Demir (ppm)	50-150
	Kostik (gr/L)	110-140
Alkali Çinko-Nikel Kaplama	Süre (dk.)	1 µm için min. 3 dk.
	Sıcaklık (°C)	20-30
	Çinko (gr/L)	5,5-6,2
	Nikel (gr/L)	0,7-2
	Kostik (gr/L)	110-140
Asitli Çinko Kaplama	Süre (dk.)	1 µm için min. 3 dk.
	pH	4,5-5,5
	Sıcaklık (°C)	18-32
	Toplam Çinko (gr/L)	30-35
	Toplam Klorür (gr/L)	130-170
	Amonyum Klorür (gr/L)	150-200
Asitli Çinko-Nikel Kaplama	Süre (dk.)	1 µm için min. 3 dk.
	pH	4,5-5,5
	Sıcaklık (°C)	18-32
	Toplam Çinko (gr/L)	30-35
	Toplam Klorür (gr/L)	130-170
	Amonyum Klorür (gr/L)	150-200
	Toplam Nikel (gr/L)	1-5
Akım (A/dm ²)	4-6	

Son aşamada, alkali çinko, alkali çinko-demir, alkali çinko-nikel, asitli çinko ve asitli çinko-nikel kaplama işlemine tabi tutulan parçalar üzerine 20-25 µm aralığında kataforez kaplama işlemi yapılmıştır. Kataforez kaplama prosesinde de çinko kaplama ile aynı daldırma yöntemi uygulanmaktadır. Kataforez kaplama işlemi gerçekleştirilen parçalar, kaplama sonrası boyanın kürlenmesi için belirli süre fırında kürlendirilmektedir. Ayrıca, çinko kaplamada kullanılan özel plastik kaplı askılar yerine metal askılar üzerine parçalar takılmaktadır. Çinko kaplama prosesinde metal askı kullanıldığı takdirde askının yüzeyinin de kaplanmasına bağlı olarak maliyet artmaktadır. Kataforez kaplama işleminde ise bu durum söz konusu değildir.

Kataforez kaplama işlemleri için kullanılacak parametrelerin teorik değerleri Tablo 4'te verilmiştir (Chemetall Gardobond AP9809 TDS, 2017; Chemetall Gardobond 24T TDS, 2018; Chemetall Gardolene V 6513 TDS, 2017; Ppg CP458A TDS, 2017; Ppg Powercon P6200 TDS, 2018).

Tablo 4. Kataforez kaplama çalışmasına ait teorik parametreler

İşlem	Parametre	Teorik	
Sıcak Yağ Alma	Süre (dk.)	5-10	
	Sıcaklık (°C)	50-85	
	Konsantrasyon (%ml)	3-10	
Aktivasyon	Süre (dk.)	30-60	
	pH	8,5-10	
Fosfat Kaplama	Süre (dk.)	2-5	
	Toplam Asit (% ml)	17-25	
	Serbest Asit (% ml)	0,6-1,1	
	Hızlandırıcı (%ml)	1,5-3	
	Toplam Flor (ppm)	550-850	
	Serbest Flor (ppm)	50-150	
	Nikel Oranı (gr/L)	0,6-1,1	
	Çinko Oranı (gr/L)	0,6-1,2	
	Mangan Oranı (gr/L)	0,2-0,5	
	Demir Oranı (ppm)	Max. 7	
Pasivasyon	Süre (dk.)	Min. 15	
	Titrasyon Noktası (%ml)	1,7-6,9	
	İletkenlik (µS)	Max. 900	
Kataforez	Süre (dk.)	3-5	
	Katı Miktarı (%)	14-20	
	Kül Miktarı (%)	1,2-2,5	
	P/L Oranı	0,11-0,16	
	Sıcaklık (°C)	29-35	
	pH	Kataforez	5,6-6,1
		DI Su Tankı	5,5-7,5
	İletkenlik	Kataforez (µS)	1000-2000
		Anolit Tankı (µS)	4000-6000
		DI Su Tankı (µS)	10-250
Ultrafiltrat	Süre (dk.)	1-10	
	İletkenlik (µS)	400-1200	
	pH	5,6-6	
Pişirme Fırını	Süre (dk.)	Min. 15	
	Sıcaklık (°C)	Min. 155	

2.3. Kaplama Karakterizasyonu

Numunelere uygulanan kaplama işlemlerinin kalitesinin ve korozyon direncinin belirlenmesi amacıyla çeşitli karakterizasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla mürekkep testi, hogobom testi, şok testi gibi testlerin sonucu görsel açıdan değerlendirilerek kaplamanın uygunluğu hakkında yorum yapılmıştır. Ayrıca, x-ışını kırınım laminografi (Helmut Fischer XDL-B XYmZ), SEM (Hitachi TM – 1000), pull-off adhezyon (DeFelsko), su direnci (Nüve BM 402), tuz sisi (Vötsch SC1000), taş çarpma (Gravelometer), çevrimsel korozyon (Ascott CC1000IP) ve scab korozyon (Angelantoni e-ISSN: 2148-2683

DCTC 1200P) cihazları kullanılarak gerçekleştirilen ölçümlerin sonuçları incelenmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

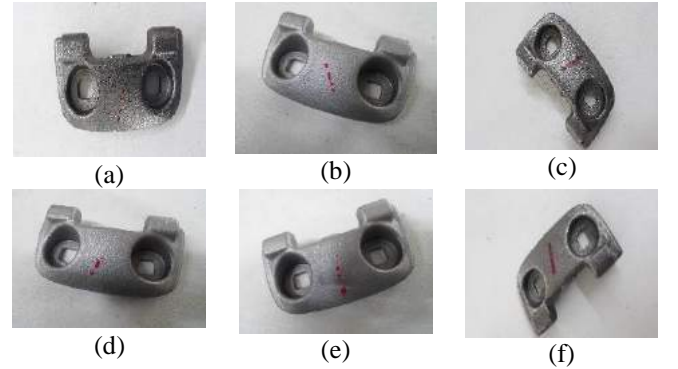
Kaplama öncesi yüzey temizliği, alkali çinko, alkali çinko-demir, alkali çinko-nikel, asitli çinko ve asitli çinko-nikel kaplama ve son olarak kataforez kaplama uygulanan numunelerin test sonuçları bu bölümde ayrıntılı olarak incelenmiştir.

3.1. Mürekkep testi

Tablo 5'te sunulan, çeşitli çinko kaplama süreçleri öncesi uygulanan yağ alma işlemine ait ölçülen değerlerin teorik değer aralıklarında olduğu görülmektedir. Alkali çinko, alkali çinko-demir, alkali çinko-nikel, asitli çinko ve asitli çinko-nikel kaplanacak tüm numunelere kaplama öncesi yapılacak yağ alma işleminin uygunluğu mürekkep testi ile belirlenmiştir. Tüm test sonuçları Şekil 1'de gösterilmiştir. Uygulanan yağ alma işleminin kabul edilebilmesi için parça yüzeyine çizilen mürekkebin test sonunda da düz bir hat şeklinde kalması, yağ alma işleminin etkin olarak yapıldığını göstermektedir. Buna göre, her iki döküm malzemeye uygulanan 5 dk ve 15 dk yağ alma işlemlerinin yetersiz kaldığı, ancak 20 dakika yağ alma işlemi yapılan malzemelerin testi geçtiği (Şekil 1.c ve f) belirlenmiştir (International Standard ISO 8296, 2003).

Tablo 5. Yağ alma süreci ölçülen çalışma parametreleri

İşlem	Parametre	Ölçülen
Sıcak yağ alma	Süre (dk.)	5, 15 ve 20
	Sıcaklık (°C)	53
	Konsantrasyon (% ml)	5

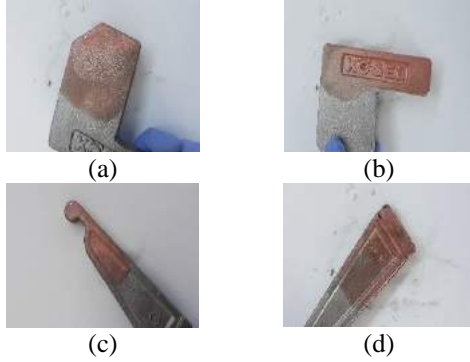


Şekil 1. Mürekkep testi sonuçları: F899 için (a) 5 dk, (b) 15 dk ve (c) 20 dk yağ alma işlemi, F990 için (d) 5 dk, (e) 15 dk ve (f) 20 dk yağ alma işlemi

3.2. Hogabom Testi

Yüzey temizliğinin sağlanması amacıyla gerçekleştirilen kumlama işleminin minimum 10 dk. boyunca sürdürülmesi gerektiği Tablo 1'de belirtilmiştir. Alkali çinko, alkali çinko-demir, alkali çinko-nikel, asitli çinko ve asitli çinko-nikel kaplanacak tüm numunelere kaplama öncesi yapılacak kumlama işleminin uygunluğu hogabom testi ile incelenmiştir. Tüm test sonuçları Şekil 2'de gösterilmiştir. Uygulanan kumlama işleminin kabul edilebilmesi için hazırlanan çözeltideki bakırın metal parça yüzeyine iyi ve homojen bir şekilde yapışması gerekmektedir. Buna göre, 5 dakikalık kumlama işleminde homojen bir kaplama elde edilemezken, 10 dakika kumlama

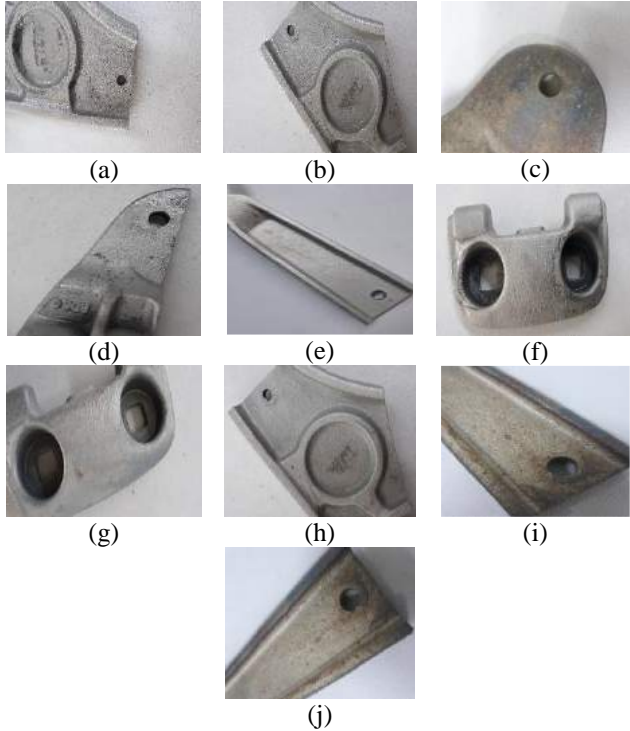
işlemi yapılan malzemelerin yüzeyinin pürüzsüz olmasına bağlı olarak bakır iyonlarının metal yüzeyine uniform biçimde yapıştığı belirlenmiştir (Şekil 2.b ve d) (NOF Metal Coatings Group, 2017).



Şekil 2. Hogabom testi sonuçları: F899 için (a) 5 dk ve (b) 10 dk kumlama işlemi, F990 için (c) 5 dk ve (d) 10 dk kumlama işlemi

3.3. Şok Testi

12-15 µm alkali çinko, alkali çinko-demir, alkali çinko-nikel, asitli çinko ve asitli çinko-nikel kaplanacak numuneler için kaplama öncesi yapılacak ultrasonik yağ alma işleminin uygunluğu şok testi ile ölçülmüştür. Tüm test sonuçları Şekil 3'te gösterilmiştir. Uygulanan ultrasonik yağ alma işleminin kabul edilebilmesi için, parça yüzeyinde yapışmadan kaynaklı kabarma ve atma olmaması gerekmektedir. Buna göre, ultrasonik yağ alma işlemi uygulanmayan numunelerin testi geçemediği, ancak 10 dk.'lık ultrasonik yağ alma işlemi uygulanan numunelerin şok testinde uygun sonuçlar elde edildiği belirlenmiştir (Adhesion Test 50765, 1990).



Şekil 3. Şok testi sonuçları: alkali çinko için (a) F899 ve (f) F990, alkali çinko-demir için (b) F899 ve (g) F990, alkali çinko-nikel için (c) F899 ve (h) F990, asitli çinko için (d) F899 ve (i) F990, asitli çinko-nikel için (e) F899 ve (j) F990 (Ultrasonik yağ alma=10 dk.)

3.4. Çinko ve Katarforez Kaplama Proseslerine Ait Ölçülen Banyo Parametreleri

Temizleme işleminden alınan parçalar üzerine uygulanan 12-15 µm aralığında çinko ve 20-25 µm aralığında katarforez kaplama işlemlerine ait ölçülen banyo parametreleri Tablo 6-8'de verilmiştir. Ölçülen parametrelerin Tablo 6-8'de verilen teorik değer aralıklarında olduğu açıkça görülmektedir.

Tablo 6. Çinko kaplama prosesi genel hatları için ölçülen çalışma parametreleri

İşlem	Parametre	Ölçülen
Elektrikli Yağ Alma	Süre (dk.)	10
	Sıcaklık (°C)	53
	Konsantrasyon (%ml)	5
	Akım Yoğunluğu (A/dm ²)	4,5
Ultrasonik Yağ Alma	Süre (dk.)	10
	Sıcaklık (°C)	55
	Konsantrasyon (%ml)	4
Asidik Yağ Alma	Süre (dk.)	8
	Konsantrasyon (%ml)	18
Nötürleme	Süre (dk.)	30
	pH	4,7
Çeşitli Çinko Kaplama Prosesleri	Parametreler	-
Nötürleme	Süre (dk.)	30
	pH	2
Hava Üfleme	Süre (dk.)	2
Kurutma Fırını	Süre (dk.)	10
	Sıcaklık (°C)	98

3.5. X-Işını Kırınım Laminografi Cihazında Çinko Kaplama Kalınlık Ölçümü

12-15 µm alkali çinko, alkali çinko-demir, alkali çinko-nikel, asitli çinko ve asitli çinko-nikel kaplanacak tüm numunelerin kaplama kalınlığı x-ışını kırınım laminografi cihazı ile ölçülmüştür. Tüm test sonuçları Şekil 4'te gösterilmiştir. Uygulanan kaplama işleminin kabul edilebilmesi için kaplama kalınlığı 12-15 µm arasında çıkmalıdır. Tablo 9'a göre, tüm parçaların ölçülen kaplama kalınlıkları istenilen aralıkta çıkmıştır (International Standard ISO 3497, 2001).

3.6. SEM Analizi ile Fosfat Kaplama Görünümü ve Krsital Büyüklüğü Ölçümü

12-15 µm alkali çinko, alkali çinko-demir, alkali çinko-nikel, asitli çinko ve asitli çinko-nikel kaplanacak numuneler üzerine kaplanan fosfat kaplamaların örtücülüğü ve kristal büyüklükleri SEM cihazı ile incelenmiştir. SEM analizi görüntüleri Şekil 5'te ve ölçülen kristal büyüklükleri Tablo 10'da verilmiştir. Fosfat kaplamanın kabul edilebilmesi için fosfatın tüm yüzeyi örtmesi ve fosfat kristallerinin 3-6 µm büyüklüğünde olması gerekmektedir. SEM görüntülerine göre, fosfat kaplamaların tüm yüzeyi örttüğü ve fosfat kristallerinin 3,11-5,60 µm büyüklüğünde olduğu belirlenmiştir. Buna göre, fosfat kaplama işleminin tüm numunelere başarılı bir şekilde

uygulandığı görülmüştür (Volvo car corporation test standart VCS 5740,1049, 2011).

Tablo 7. Çinko kaplama yöntemlerine ait ölçülen çalışma parametreleri

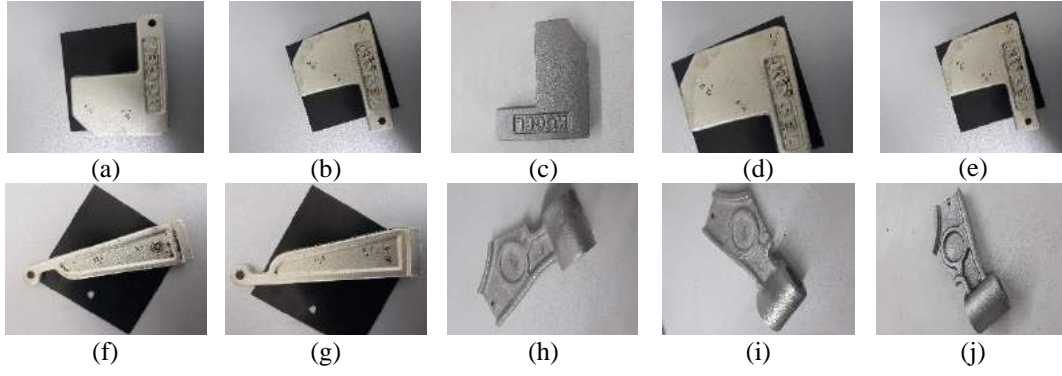
İşlem	Parametre	Ölçülen
Alkali Çinko Kaplama	Süre (dk.)	42
	Sıcaklık (°C)	23
	Çinko (gr/L)	12
	Kostik(g/L)	132
	Akım (A/dm ²)	3,5
Alkali Çinko Demir Kaplama	Süre (dk.)	45
	Sıcaklık (°C)	28
	Çinko (gr/L)	9
	Demir (ppm)	90
	Kostik (gr/L)	130
	Akım (A/dm ²)	4
Alkali Çinko-Nikel Kaplama	Süre (dk.)	45
	Sıcaklık (°C)	29
	Çinko (gr/L)	6
	Nikel (gr/L)	1,9
	Kostik (gr/L)	138
Asitli Çinko Kaplama	Süre (dk.)	45
	pH	5
	Sıcaklık (°C)	30
	Toplam Çinko (gr/L)	32
	Toplam Klorür (gr/L)	150
	Amonyum Klorür (gr/L)	190
	Akım (A/dm ²)	5
Asitli Çinko-Nikel Kaplama	Süre (dk.)	45
	pH	5,2
	Sıcaklık (°C)	31
	Toplam Çinko (gr/L)	31
	Toplam Klorür (gr/L)	155
	Amonyum Klorür (gr/L)	165
	Toplam Nikel (gr/L)	4
Akım (A/dm ²)	5	

Tablo 8. Kataforez kaplama çalışmasına ait ölçülen parametreler

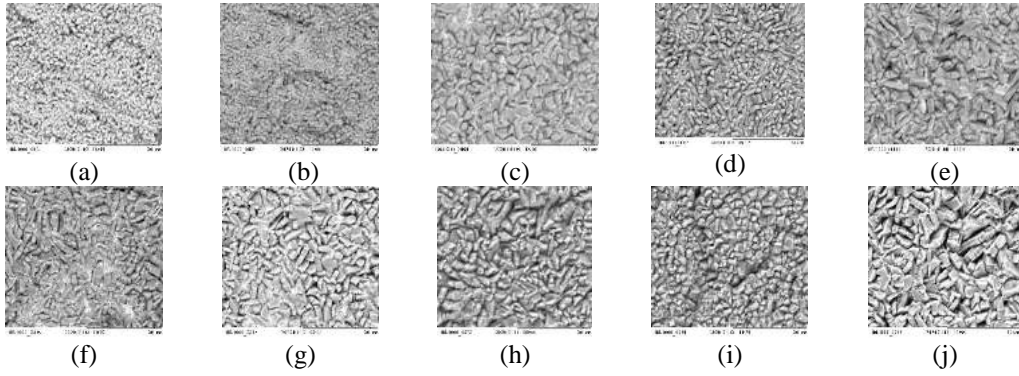
İşlem	Parametre	Ölçülen	
Sıcak Yağ Alma	Süre (dk.)	7	
	Sıcaklık (°C)	52	
	Konsantrasyon (%ml)	4	
Aktivasyon	Süre (dk.)	45	
	pH	9,5	
Fosfat Kaplama	Süre (dk.)	3	
	Toplam Asit (%ml)	23	
	Serbest Asit (%ml)	1	
	Hızlandırıcı (%ml)	2,7	
	Toplam Flor (ppm)	770	
	Serbest Flor (ppm)	85	
	Nikel Oranı (gr/L)	0,82	
	Çinko Oranı (gr/L)	1,1	
	Mangan Oranı (gr/L)	0,42L	
Pasivasyon	Süre (dk.)	30	
	Titrasyon Noktası (%ml)	3,5	
	İletkenlik (µS)	700	
Kataforez	Süre (dk.)	3,05	
	Katı Miktarı (%)	16	
	Kül Miktarı (%)	1,7	
	P/L Oranı	0,14	
	Sıcaklık (°C)	32	
	pH	Kataforez	6
		DI Su Tankı	6,5
	İletkenlik	Kataforez (µS)	1300
		Anolit Tankı (µS)	700
DI Su Tankı (µS)		650	
Ultrafiltrat	Süre (dk.)	1	
	İletkenlik (µS)	1000	
	pH	5,8	
Pişirme Fırını	Süre (dk.)	62	
	Sıcaklık (°C)	200	

Tablo 9. X-ışını kırınım laminografi cihazı kaplama kalınlık ölçüm sonuçları (istenilen kaplama kalınlığı: 12-15 µm)

Döküm Kodu	Kaplama Çeşidi				
	Alkali çinko + fosfat	Alkali çinko-demir + fosfat	Alkali çinko-nikel + fosfat	Asitli çinko + fosfat	Asitli çinko-nikel + fosfat
F899	12,53 µm / Uygun	14,23 µm / Uygun	14,89 µm / Uygun	14,17 µm / Uygun	14,11 µm / Uygun
F990	12,27 µm / Uygun	12,53 µm / Uygun	12,10 µm / Uygun	12,09 µm / Uygun	12,71 µm / Uygun



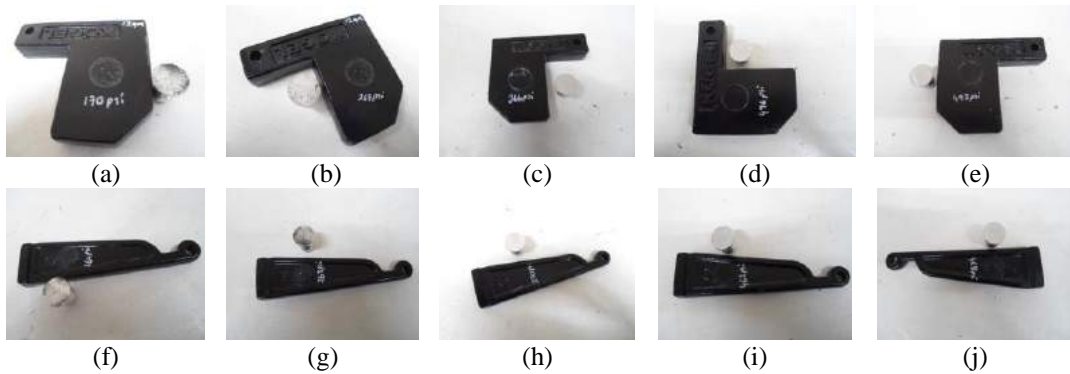
Şekil 4. X-ışını kırınım laminografi cihazında kaplama kalınlık sonuçları: alkali çinko için (a) F899 ve (f) F990, alkali çinko-demir için (b) F899 ve (g) F990, alkali çinko-nikel için (c) F899 ve (h) F990, asitli çinko için (d) F899 ve (i) F990, asitli çinko-nikel için (e) F899 ve (j) F990



Şekil 5. Sem cihazı fosfat kristali görünümü sonuçları: alkali çinko için (a) F899 ve (f) F990, alkali çinko-demir için (b) F899 ve (g) F990, alkali çinko-nikel için (c) F899 ve (h) F990, asitli çinko için (d) F899 ve (i) F990, asitli çinko-nikel için (e) F899 ve (j) F990

Tablo 10. SEM cihazı ile fosfat kaplama kristal büyüklüğü sonuçları (istenilen kristal büyüklüğü: 3-6 μm)

Döküm Kodu	Kaplama Çeşidi				
	Alkali çinko + fosfat	Alkali çinko-demir + fosfat	Alkali çinko-nikel + fosfat	Asitli çinko + fosfat	Asitli çinko-nikel + fosfat
F899	3,38 μm / Uygun	3,27 μm / Uygun	3,89 μm / Uygun	5,12 μm / Uygun	5,60 μm / Uygun
F990	3,11 μm / Uygun	4,96 μm / Uygun	4,29 μm / Uygun	3,55 μm / Uygun	5,33 μm / Uygun



Şekil 6. Pull-Off adhezyon testi sonuçları: alkali çinko için (a) F899 ve (f) F990, alkali çinko-demir için (b) F899 ve (g) F990, alkali çinko-nikel için (c) F899 ve (h) F990, asitli çinko için (d) F899 ve (i) F990, asitli çinko-nikel için (e) F899 ve (j) F990

3.7. Pull-Off Adhezyon Testi

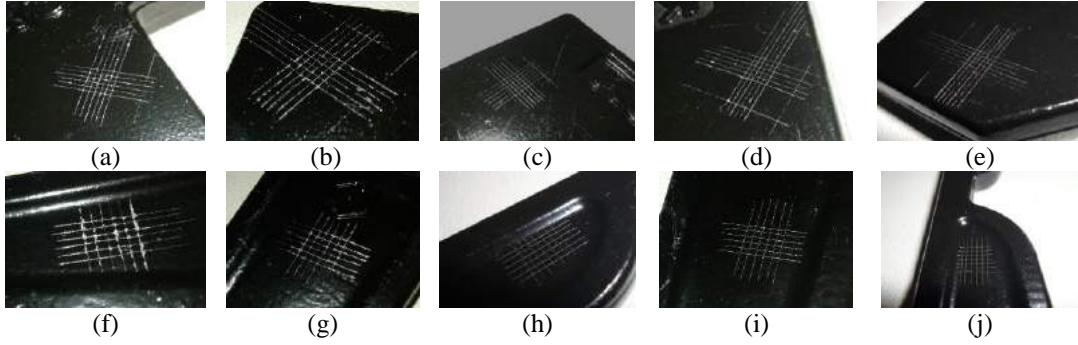
Bu işlem, organik kaplamaların yüzeylerinin yüzeye yapışma mukavemetlerini belirlemede kullanılan test yöntemidir. 12-15 µm alkali çinko, alkali çinko-demir, alkali çinko-nikel, asitli çinko ve asitli çinko-nikel üzerine uygulanan 20-25 µm kataforez kaplamaların çinko kaplamaya tutunumu pull-off adhezyon testi ile incelenmiştir (Şekil 6). Kataforez kaplamaların çinko kaplamaya tutunumun kabul edilebilmesi için tutunum değerinin 100 psi'nin altında olmaması gerekmektedir. Pull-off adhezyon testine göre, tutunma değerlerinin 164-496 psi arasında olması tutunmanın başarılı bir şekilde gerçekleştirildiğini göstermiştir (Tablo 11) (ASTM D4541 Standart test method, 2017).

3.8. Su Direnci Testi

12-15 µm alkali çinko, alkali çinko-demir, alkali çinko-nikel, asitli çinko ve asitli çinko-nikel üzerine 20-25 µm kataforez kaplandıktan sonra Fiat'ın 50470 numaralı şartnamesine göre su direnci testi yapılmıştır (Şekil 7). Su direnci testine göre, kaplamaların Ad0, Ad1 ve Ad2 olmak üzere farklı yapışma direnci değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir (Tablo 12). Uygulanan kaplamanın kabul edilebilmesi için yapışma direnci testi sonucunun Ad0 ve Ad1 olması ve kaplamanın renginde değişim gözlenmemesi gerekmektedir. Buna göre, alkali çinko + kataforez ve alkali çinko-demir + kataforez kaplanan F990 sıcak-dövme döküm numunesi hariç diğer tüm numuneler testi geçmiştir (Fiat Auto Normazione Material Standart 50470, 2005).

Tablo 11. Pull-off adhezyon ölçüm sonuçları (istenilen tutunum > 100 psi)

Döküm Kodu	Kaplama Çeşidi				
	Alkali çinko + kataforez	Alkali çinko-demir + kataforez	Alkali çinko-nikel + kataforez	Asitli çinko + kataforez	Asitli çinko-nikel + kataforez
F899	170 psi / Uygun	267 psi / Uygun	366 psi / Uygun	496 psi / Uygun	493 psi / Uygun
F990	164 psi / Uygun	263 psi / Uygun	370 psi / Uygun	462 psi / Uygun	468 psi / Uygun



Şekil 7. Su direnci testi sonuçları: alkali çinko için (a) F899 ve (f) F990, alkali çinko-demir için (b) F899 ve (g) F990, alkali çinko-nikel için (c) F899 ve (h) F990, asitli çinko için (d) F899 ve (i) F990, asitli çinko-nikel için (e) F899 ve (j) F990

Tablo 12. Su direnci ölçüm sonuçları

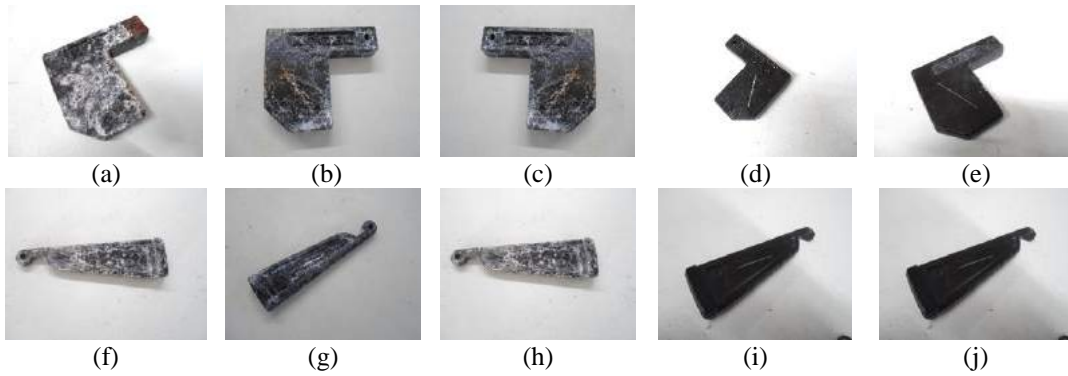
Döküm Kodu	Kaplama Çeşidi				
	Alkali çinko + kataforez	Alkali çinko-demir + kataforez	Alkali çinko-nikel + kataforez	Asitli çinko + kataforez	Asitli çinko-nikel + kataforez
F899	Ad1 / Uygun	Ad1 / Uygun	Ad0 / Uygun	Ad0 / Uygun	Ad0 / Uygun
F990	Ad2 / Uygun değil	Ad2 / Uygun değil	Ad0 / Uygun	Ad0 / Uygun	Ad0 / Uygun

Tablo 13. Tuz sisi testi değerlendirme sonuçları

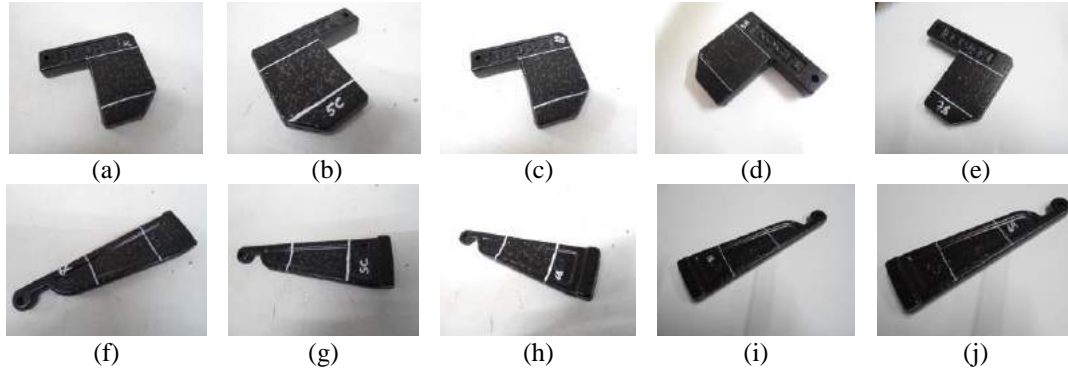
Döküm Kodu	Kaplama Çeşidi				
	Alkali çinko + kataforez	Alkali çinko-demir + kataforez	Alkali çinko-nikel + kataforez	Asitli çinko + kataforez	Asitli çinko-nikel + kataforez
F899	Uygun değil	Uygun değil	Uygun değil	Uygun	Uygun
F990	Uygun değil	Uygun	Uygun değil	Uygun	Uygun

3.9. Tuz Sisi Testi

12-15 µm alkali çinko, alkali çinko-demir, alkali çinko-nikel, asitli çinko ve asitli çinko-nikel üzerine 20-25 µm kataforez kaplandıktan sonra ASTM B117 ve DIN EN ISO 9227 numaralı şartnamelere göre yapılan tuz sisi testinin sonuçları Şekil 8’de gösterilmiştir. Uygulanan kaplamanın kabul edilebilmesi için 500 saatlik tuz sisi testi sonrasında lekelenme, bozulma, çatlama, kırılma, şişme, pul şeklinde dökülme, tabakalara ayrılma, boya yapışmasında kopma gibi yüzey bozuklukları olmamalıdır ve parça yüzeyinin maksimum %5’inde kırmızı pas olmalıdır. Buna göre, asitli çinko + kataforez, asitli çinko-nikel + kataforez kaplı F899 ve F990 sıcak-dövme döküm numuneleri (Şekil 8.d, e, i ve j) ve alkali çinko-demir + kataforez kaplı F990 (Şekil 8.g) testi geçmiştir. Tuz sisi testi değerlendirme sonuçları Tablo 13’te özetlenmiştir (ASTM B117 Standart Method, 1939; International Standard DIN EN ISO 9227, 2006).



Şekil 8. Tuz sisi testi sonuçları: alkali çinko için (a) F899 ve (f) F990, alkali çinko-demir için (b) F899 ve (g) F990, alkali çinko-nikel için (c) F899 ve (h) F990, asitli çinko için (d) F899 ve (i) F990, asitli çinko-nikel için (e) F899 ve (j) F990



Şekil 9. Taş çarpma testi sonuçları: alkali çinko için (a) F899 ve (f) F990, alkali çinko-demir için (b) F899 ve (g) F990, alkali çinko-nikel için (c) F899 ve (h) F990, asitli çinko için (d) F899 ve (i) F990, asitli çinko-nikel için (e) F899 ve (j) F990

Tablo 14. Taş çarpma ölçüm sonuçları

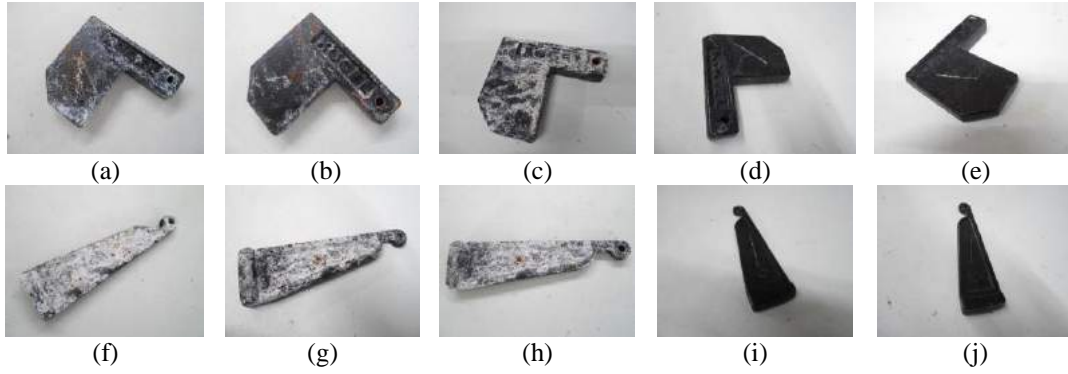
Döküm Kodu	Kaplama Çeşidi				
	Alkali çinko + kataforez	Alkali çinko-demir + kataforez	Alkali çinko-nikel + kataforez	Asitli çinko + kataforez	Asitli çinko-nikel + kataforez
F899	6C / Uygun değil	5C / Uygun değil	5B / Uygun değil	7B / Uygun	7B / Uygun
F990	6C / Uygun değil	5C / Uygun değil	5B / Uygun değil	7B / Uygun	7B / Uygun

3.11. Çevrimsel Korozyon Testi

12-15 µm alkali çinko, alkali çinko-demir, alkali çinko-nikel, asitli çinko ve asitli çinko-nikel üzerine kataforez kaplanan numunelere PV1200 numaralı şartnameye göre çevrimsel korozyon testi yapılmış ve sonuçlar Şekil 10'da sunulmuştur. Uygulanan kaplamanın kabul edilebilmesi için 8 çevrimden sonra çevrimsel korozyon testi sonucu kabarma, base metal korozyon, boya yapışmasında kopma gibi yüzey bozuklukları olmamalıdır ve yapışma kaybı $d \leq 1,5$ mm olmalıdır. Buna göre, asitli çinko + kataforez ve asitli çinko-nikel + kataforez kaplı F899 ve F990 sıcak-dövme döküm numunelerinin (Şekil 10.d, e, i ve j) testi geçtiği belirlenmiştir. Çevrimsel korozyon testi değerlendirme sonuçları Tablo 15'te verilmiştir (Test standart PV1200, 2004).

3.12. Scab Korozyon Testi

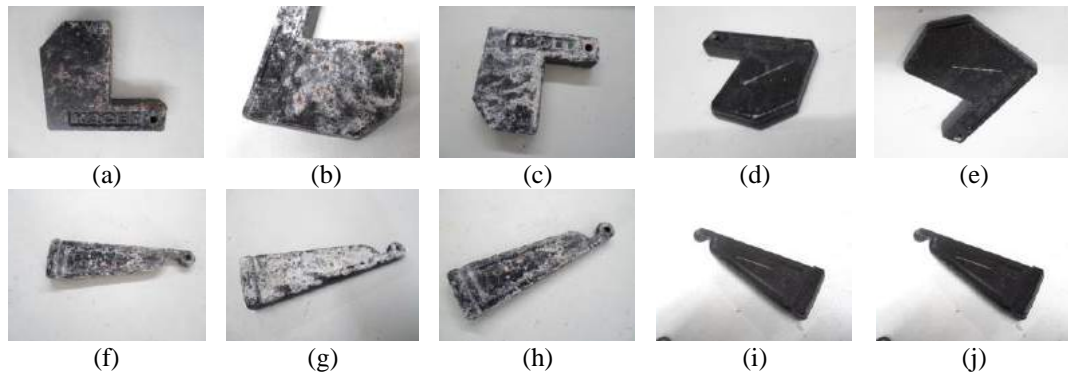
12-15 µm alkali çinko, alkali çinko-demir, alkali çinko-nikel, asitli çinko ve asitli çinko-nikel üzerine kataforez kaplama yapılan numuneler 50493-04 numaralı şartnameye göre scab korozyon testine tabi tutulmuştur (Tablo 16). Uygulanan kaplamanın uygunluğunun belirlenebilmesi için 500 saat scab korozyon testi sonucu oksitlenmiş noktaların sayısı tespit edilir ve yayılan korozyonun büyüklüğü ölçülür. Buna göre, asitli çinko + kataforez ve asitli çinko-nikel + kataforez kaplı F899 ve F990 sıcak-dövme döküm numunelerinin (Şekil 11.d, e, i ve j) testi geçtiği belirlenmiştir. Scab korozyon testi değerlendirmeleri Tablo 16'da sunulmuştur (Fiat Auto Normazione Material Standart 50493/04, 2011).



Şekil 10. Çevrimsel korozyon testi sonuçları: alkali çinko için (a) F899 ve (f) F990, alkali çinko-demir için (b) F899 ve (g) F990, alkali çinko-nikel için (c) F899 ve (h) F990, asitli çinko için (d) F899 ve (i) F990, asitli çinko-nikel için (e) F899 ve (j) F990

Tablo 15. Çevrimsel korozyon değerlendirme sonuçları

Döküm Kodu	Kaplama Çeşidi				
	Alkali çinko + kataforez	Alkali çinko-demir + kataforez	Alkali çinko-nikel + kataforez	Asitli çinko + kataforez	Asitli çinko-nikel + kataforez
F899	Uygun değil	Uygun değil	Uygun değil	Uygun	Uygun
F990	Uygun değil	Uygun değil	Uygun değil	Uygun	Uygun



Şekil 11. Scab korozyon testi sonuçları: alkali çinko için (a) F899 ve (f) F990, alkali çinko-demir için (b) F899 ve (g) F990, alkali çinko-nikel için (c) F899 ve (h) F990, asitli çinko için (d) F899 ve (i) F990, asitli çinko-nikel için (e) F899 ve (j) F990

Tablo 16. Scab korozyon değerlendirme sonuçları

Döküm Kodu	Kaplama Çeşidi				
	Alkali çinko + kataforez	Alkali çinko-demir + kataforez	Alkali çinko-nikel + kataforez	Asitli çinko + kataforez	Asitli çinko-nikel + kataforez
F899	Uygun değil	Uygun değil	Uygun değil	Uygun	Uygun
F990	Uygun değil	Uygun değil	Uygun değil	Uygun	Uygun

4. Sonuç

Metal ve metal alaşımlarının yüzeylerinin korozyona karşı korunma işlemi büyük bir önem teşkil etmektedir. Bahsi geçen koruma işlemi ise kaplamalar yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmanın ilk aşamasında, sıcak-dövme döküm parçalara kumlama işlemi öncesi yapılan yağ alma işleminin uygunluğu mürekkep testi ile incelenmiştir. Buna göre, 5 ve 10 dakikalık yağ alma işlemine tabi tutulan numunelerin testi geçmediği ancak 20 dakikalık yağ alma işlemi yapılan tüm numunelerin mürekkep testini geçtiği belirlenmiştir. Sıcak yağ alma işlemi sonrası numunelere yapılan kumlama işleminin uygunluğu hogabom testi ile kontrol edilmiş ve 10 dakika kumlama işlemi yapılan tüm numunelerin testi geçtiği belirlenmiştir. Kumlama işlemi sonrası alkali çinko, alkali çinko-demir, alkali çinko-nikel, asitli çinko ve asitli çinko-nikel kaplama öncesi yapılan ultrasonik yağ alma işleminin uygunluğu şok testi ile analiz edilmiş ve 10 dakikalık ultrasonik yağ alma işlemi yapılan tüm numunelerin testi geçtiği belirlenmiştir. Ultrasonik yağ alma işlemi sonrası çinko-esaslı kaplama uygulanan numunelerin kaplama kalınlıklarının 12–15 µm aralığında olduğu x-ışını kırınım laminografi cihazı ölçümü ile ispatlanmıştır. Çinko-esaslı kaplama üzerine fosfat kaplanan numunelere SEM analizi uygulanmış ve tüm numunelerin istenilen görünümde ve fosfat kristal büyüklüğü 3-6 µm olacak şekilde kaplandığı gözlenmiştir. Ayrıca fosfat kristallerinin alkali çinko kaplanan yüzeylerde yatay, asitli çinko kaplanan yüzeylerde dikey olduğu belirlenmiştir. Son aşamada, fosfat kaplama üzerine kataforez kaplama yapılmıştır. Pull-off adhezyon testi sonucuna göre, tüm numuneler için kataforez kaplamanın çinko kaplamaya tutunumunun uygun olduğu tespit edilmiştir. Uygulanan test sonuçlarına göre, sıcak-dövme döküm parçalarının korozyon direncini artırmak için en uygun kaplamanın 12-15 µm asitli çinko, asitli çinko-nikel + kataforez kaplama olduğu belirlenmiştir. Ancak asitli çinko-nikel kaplama maliyet açısından asitli çinko kaplamaya göre daha pahalı bir kaplama olduğu için sıcak-dövme döküm parçaların korozyon direnci göz önüne alındığında asitli çinko üzerine kataforez kaplamanın tercih edilebileceği öngörülmüştür.

5. Teşekkür

Bu çalışma, Uzman Kataforez Yüzey Kaplama San. ve Tic. A.Ş. firması tarafından yürütülen TÜBİTAK 3180632 nolu projenin bir parçası olarak desteklenmiş olup, yazarlar TÜBİTAK ve Uzman Kataforez Yüzey Kaplama San. ve Tic. A.Ş. firmasına teşekkürü bir borç bilirler.

Kaynakça

- Adhesion Test 50765 (1990). *Metallic Material Surface Treatments Electrolytic Plating and Chemical Coating Heat Shock Adhesion Test*.
- Amadeh, A., Pahlevani, B., & Heshmati-Manesh, S. (2002). Effects of rare earth metal addition on surface morphology and corrosion resistance of hot-dipped zinc coatings. *Corrosion Science*, 44(10), 2321-2331.
- ASTM B117 Standart Method (1939). *Salt Spray (Fog) Testing*.
- ASTM D4541 Standart test method. (2017). *Pull-Off Strength of Coating Using Portable Adhesion Testers*.
- Chemetall Gardobond AP9809 TDS (2017), *Liquid, phosphorous-free pre-treatment for multi-metal applications*.
- Chemetall Gardobond 24T TDS (2018), *A manganese modified low zinc phosphating process for steel and galvanised steel materials*.
- Chemetall Gardolene V 6513 TDS (2017), *Activating pre-rinsing agent for metal surfaces applied by immersion or spray prior to phosphating*.
- Ekinoks Kimya Alukleen CV TDS (2017), *Alüminyum, bakır, pirinç, zamak gibi metal ve alaşımlarının yüzey temizliği prosedürü.*
- Ekinoks Kimya Cleanox E TDS (2019), *Metal sanayi ve otomobil endüstrisinde elektrolitik yağ alma işlemi prosedürü.*
- Ekinoks Kimya Cleanox 1972 TDS (2018), *Metal sanayi ve otomobil endüstrisinde demir, çelik, alüminyum ve çinko yüzeyler için kullanılan kuvvetli alkali yağ alma malzemesinin daldırma ve püskürtme yöntemiyle uygulanma prosedürü.*
- Eser Kimya ES/FE 36 TDS (2017), *Siyaniürsüz alkali çinko-demir kaplama prosesi.*
- Eser Kimya ES/F1 TDS (2017), *Siyaniürsüz alkali çinko kaplama prosesi.*
- Eser Kimya ES/RKR TDS (2018), *Asitli çinko kaplama prosesi.*
- Eser Kimya ES/RKR-NI TDS (2018), *Asit çinko-nikel kaplama prosesi.*
- Eser Kimya ES/ZN-NI Plus TDS (2017), *Alkali çinko-nikel kaplama prosesi.*
- Fiat Auto Normazione Material Standart 50470 (2005). *Water Resistance Test for Decorations and Paints*.
- Fiat Auto Normazione Material Standart 50493/04. (2011). *Determination of the resistance of organic coatings to the propagation of bubble under skin corrosion (scab in door)*.
- Fujita, S., & Mizuno, D. (2007). Corrosion and corrosion test methods of zinc coated steel sheets on automobiles. *Corrosion Science*, 49(1), 211-219.
- Ganesan, S., Prabhu, G., & Popov, B. N. (2014). Electrodeposition and characterization of Zn-Mn coatings for

- corrosion protection. *Surface and Coatings Technology*, 238, 143-151.
- International Standard DIN EN ISO 9227. (2006). *Corrosion tests in artificial atmospheres – Salt spray tests*.
- International Standard ISO 3497. (2001). *Metallic coating - Measurement of coating thickness - X-ray spectrometric methods*.
- International Standard ISO 8296 (2003), *Plastics – Film and sheeting – Determination of wetting tension*. Geneva.
- International Standard SAE J400. (2012). *Surface vehicle recommended practice*.
- Kılınç, M. (2019). *Katodizasyon kaplama üzerine solvent bazlı ve su bazlı lamelli kaplama uygulamaları ile oluşacak dubleks kaplamanın korozyon ve ömür testine etkisinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Lawrance, J. D. (1963). *Electroplating Engineering Handbook*, 4th ed., New York.
- NOF Metal Coatings Group. (2017). *GEOMET 321/500 Technical manuel (EN)*.
- Polat, B. D., Timur, I. S., Keles, Ö. (2013). Çinko-alüminyum alaşımından üretilmiş döküm parçalarının korozyon direncine bakır kaplama proseslerinin etkisi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part:C, Tasarım Ve Teknoloji*, 1(3), 103-113.
- Ppg CP458A TDS (2017), *Electrocoating Process*.
- Ppg Powercon P6200 TDS (2018), *Electrocoating Process*.
- Ramanauskas, R., Quintana, P., Maldonado, L., Pomés, R., & Pech-Canul, M. A. (1997). Corrosion resistance and microstructure of electrodeposited Zn and Zn alloy coatings. *Surface and Coatings Technology*, 92(1-2), 16-21.
- Test standart PV1200. (2004). *Testing of resistance to environmental cycle test (+80/-40) °C*.
- Uyanık, M. (2012). *SiC nanopartikül ilaveli asitli çinko kaplama banyolarında yapılan kaplamaların malzemenin korozyon direnci ve mekanik özelliklerine etkisinin araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Uzman Katodizasyon Yüzey Kaplama San. Ve Tic. A.Ş. (2019), *Yüzey temizleme, çinko ve katodizasyon kaplama prosedürleri raporları*.
- Volvo car corporation test standart VCS 5740,1049. (2011). *Phosphating*.
- Yılmaz, E. (2013). *Electroplated coating of cast steel and zamak parts by acidic zinc nickel*, Master Thesis, Marmara University, Institute for Graduate Studies in Pure and Applied Sciences, İstanbul.
- Zaki N., Frederick Gumm Chemical Company, Inc. (1993). *Zinc Alloy Plating, Surface Engineering (Introduction) Volume 5; ASTM*.



Metin Madenciliği ile Tıbbi Tedavi Alanlarının Yakınlıklarının Ölçülmesi

Hasan Kurban*

Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Siirt, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3142-2866), hakurban@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 29 Kasım 2020 ve Kabul Tarihi 30 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.833199)

ATIF/REFERENCE: Kurban, H. (2021). Metin Madenciliği ile Tıbbi Tedavi Alanlarının Yakınlıklarının Ölçülmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 518-526.

Öz

Bazı hastalık belirtilerinin birçok tıbbi tedavi alanıyla ilgili olması, hastaların tedavi için randevu alırken zorlanmalarına sebep olmaktadır. Örneğin; karın ağrısı rahatsızlığı bulunan bir hastanın rahatsızlığı dahiliye, hariciye ya da intaniye bölümlerinden herhangi birisiyle ilgisi bulunabilmektedir. Bu çalışmada T.C. Sağlık Bakanlığına bağlı birçok kamu hastanesinin resmî internet sitesinde bulunan ve hastaların belirtilerine göre doğru tıbbi tedavi branşını seçmelerine yardımcı olmak amacıyla kullanılan 13 tıbbi alan ve 204 belirti, metin madenciliği ve veri bilimi teknikleriyle kapsamlı olarak incelenmiştir. Kamu hastanelerinin resmî internet sitelerinde kullanılan metnin içeriği baz alınarak tıbbi tedavi alanları arasındaki, yakınlık/uzaklık hesaplanıp, kelime bazlı hastaları randevu alanını belirlerken en çok zorlayan kelimeler ve belirtiler tespit edilmiştir. Kullanılan kelimeler analiz edilirken edat ve bağlaç gibi anlamsız sözcükler göz ardı edilip, hastalık belirtileri üzerinde kelime bulutu (word cloud) oluşturulmuştur. Tıbbi alanların yakınlığını hesaplamak için öncelikle metin içeriği kullanılarak 13 alan için her bir belirtinin var olup olmadığını gösteren 13x186 boyutlu ikili veri (binary data, document matrix) oluşturulmuştur. Daha sonra, bu veri seti üzerinde tıbbi tedavi alanları belirtilere göre aglomeratif hiyerarşik kümeleme algoritmaları (single, complete, average, ward, mcquitty) kullanılarak kümelendirilip metin bazlı alanların birbiri ile yakınlığı tespit edilmiştir. Bu makalenin sonuçlar kısmında hastaları en çok zorlayan kelimeler ve tıbbi alanların metin bazlı yakınlıkları paylaşılmıştır. Elde edilen sonuçlar çerçevesinde kullanılan metnin sağlık uzmanları tarafından tekrar düzenlenmesinin, yanlış tıbbi branşlardan alınan randevu sayısının azaltılmasına katkısı olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Hastane randevusu, Metin madenciliği, Veri bilimi, Hastalık belirtileri, Sağlık.

Measuring the Proximity of Medical Treatment Areas with Text Mining

Abstract

The fact that some of the symptoms are related to many medical treatment areas causes patients to have difficulty in making an appointment for treatment. In this study, 13 medical fields and 204 symptoms, which are available on the website of many public hospitals associated with T.C. Ministry of Health and used to help patients choose the right medical treatment branch according to their symptoms, were examined using text mining and data science techniques. Based on the content of the text used, the closeness among the medical treatment areas was calculated and the words and symptoms confusing the patients the most while deciding the treatment area were determined. When analyzing the words, meaningless words were ignored, and a word cloud was created on the symptoms of the diseases. In order to calculate the closeness of medical fields, 13x186 binary data was created, indicating whether each symptom exists. Later, the medical fields on this data set were clustered according to the symptoms using agglomerative hierarchical clustering algorithms and the proximity of medical treatment fields was found. In the results, the words that challenge patients the most and the text-based affinities of medical fields are shared. Reorganizing content of the official document used on the hospital websites using the results obtained on this study will help to reduce the number of appointments received from the wrong medical branches.

Keywords: Hospital appointment, Text mining, Data science, Disease symptoms, Health.

* Sorumlu Yazar: hakurban@gmail.com

1. Giriş

İnsan vücudu kompleks bir yapıdadır. Vücudun belirli bir bölgesinde meydana gelen bir rahatsızlık, vücudun başka bir bölgesinde/bölgelerinde, o bölge ile doğrudan ilgisi olmayan bir sorunun/sorunların sonucu olarak ortaya çıkabilmektedir. Örneğin; mide bulantısı yaşayan bir hastanın hastalığı, dahiliye, intaniye, hariciye ve bevliye bölümleriyle ilgili bir problemi gösterebilmektedir. Ya da baş dönmesi belirtisinin; dahiliye, kulak burun boğaz (KBB), nöroloji veya göz bölümleri ile ilişkisi bulunabilmektedir. İnsan vücudundaki herhangi bir hastalık belirtisinin birçok tıbbi alanla ilgili olması, hastalarının tedavi için gitmesi gereken tıp alanını seçerken hata yapmalarına sebep olmaktadır. Ayrıca bu durum, hastane kaynaklarının optimal bir şekilde kullanılmasına engel olup, sağlık hizmetlerinin verilmesinde çeşitli problemlere yol açmaktadır [1]. İngiltere’de yapılan bir çalışmaya göre bir hastanın yanlış bir doktora gitmesinin masrafı yaklaşık olarak 75-100 İngiliz poundu olarak hesaplanmıştır [2]. Bir hastanın kendisinin rahatsızlığı ile alakalı olmayan bir tedaviyi beklemesi, o tedavi için bekleyen hastaların bekleme süresini arttırırken, bir yandan da tedavisinin daha masrafları bir hale gelmesine sebep olmaktadır. Tedavinin en yararlı olduğu zaman diliminin göz ardı edilmesinin ne vahim sonuçlar doğuracağını, Çin’de meydana gelen ve bütün dünyayı etkisi altına alan Korona (Covid’19) virüsünün sonuçlarına bakıldığı zaman daha iyi bir şekilde anlaşılabilir.

Büyük veri ve yapay zekâ (YZ) tabanlı akıllı randevu sistemleri, günümüzde yaygın ve aktif olarak kullanılmamasına rağmen, akademik olarak son zamanlarda YZ tabanlı hastaları doğru tedavi alanlarına yönlendirebilecek sistemler üzerine çalışmalar yapılmaktadır [3-5]. YZ tabanlı bu tür sistemler hastaları en doğru bransa yönlendirebilmelerinin yanında, hastanelerin kaynaklarının daha optimal olarak kullanılmasına katkıları olmaktadır. Kurulan sistem sayesinde, sağlık giderleri azaltılıp, sağlık çalışanlarının ve hastaların memnuniyetlerinin arttırılması sağlanmaktadır. Metin madenciliği [6]; sağlık alanı dahil olmak üzere birçok alanda metinlerde saklı ve önemli bilgilerin ortaya çıkarılması ve metinlerin geliştirilmesi için kullanılmaktadır [7-11]. Bu çalışmada T.C. Sağlık Bakanlığının, birçok kamu hastanesinin resmî sitesinde, hastalara randevu alırken yardımcı olmak amacıyla kullandığı, hastalık belirtileri ile tıbbi tedavi alanlarıyla ilgili metin, metin & veri madenciliği, makine öğrenimi ve veri bilimi teknikleriyle incelenmiştir. Hastanelerin bahsedilen dökümanı bu çalışmadan çıkan sonuçlara göre yenilemeleri sağlık sisteminin daha verimli bir şekilde çalışmasına faydası olacaktır. Bu çalışmada cevabı aranan bazı araştırma soruları aşağıdaki gibidir:

- En sık kullanılan ve birden fazla tedavi alanı ile ilgisi olan ve hastaları randevu alırken, alan seçiminde zorlayan kelimeler ve hastalık belirtileri nelerdir?
- Tıbbi tedavi alanlarının birbirine yakınlığını/benzerliğini, verilen metin veri setini

kullanarak, makine öğrenimi algoritmaları ile anlayabilir miyiz?

- Belirtilere göre tıbbi tedavi alanları arasındaki korelasyon nasıl görülmektedir?

Bu çalışmada yazılan bilgisayar programları, verili bilimi ve hesaplama bilimlerini alanını içeren birçok alanda her geçen gün yaygınlığını arttıran R programlama dili ile yazılmıştır. Çalışma için oluşturulan kodlar kamuya açık bir şekilde GitHub aracılığı ile paylaşılmıştır. Ayrıca, her bir tıbbi tedavi alanı için metinde verilen herbir belirtinin (186 belirti) var olup olmadığını gösteren dönem vektörleri (term vector) oluşturulduktan sonra, bu dönem vektörleri birleştirilip ilişkisel yeni bir veri seti oluşturulmuştur. Bu veri seti ikili (binary) seyrek veri seti olup, eğitimsel olarak ve araştırma amacıyla kullanılabilmesi amacıyla kamuya açık bir şekilde paylaşılmıştır [12].

2. Materyal ve Metot

2.1. Hiyerarşik Kümeleme

Bilgisayarda öğrenme (makina öğrenmesi); eğitimsiz öğrenme (unsupervised learning) [13] eğitilmiş öğrenme (supervised learning) [14], yarı eğitilmiş öğrenme (semi-supervised learning) [15] ve pekiştirmeli öğrenme (reinforcement learning) [16] olmak üzere dört ana başlık altında toplanmaktadır. Bu çalışmada metne bağlı olarak tıbbi alanlar arasındaki ilişkileri (yakınlık/uzaklık, benzerlik/ farklılık) ortaya çıkarıp, hastaları randevu alırken en çok zorlayan alan/alanların tespiti için, eğitimsiz öğrenmenin ana yöntemlerinden biri olarak bilinen kümeleme algoritma metotlarından faydalanılmıştır. Benzer yaklaşımla, farklı alanlarda yapılandırılmamış metin üzerinde döküman veri matrisi oluşturularak, bu matrise dayalı kelimelerin kümeleneceği yaygın bir şekilde uygulanmaktadır [17-20]. Kümeleme algoritmalarının performansları ve sonuçları farklı veri setleri üzerinde değişiklikler göstermektedir [21]. Örneğin; en popüler kümeleme algoritmalarından biri olan k -means kümeleme algoritması, küre şeklindeki veriler üzerinde daha iyi performans göstermesine rağmen, hiyerarşik kümeleme algoritmaları daha çok hiyerarşik yapıların olduğu veri setleri üzerinde daha iyi performans göstermektedir. Algoritmaların performanslarının değişiklik göstermesinin sebebi, tasarım şekillerinden kaynaklanmaktadır. Örneğin; k -means algoritması istenilen sayıda küme oluştururken, yinelemeli olarak (1) denkleminde verilen konveks fonksiyon olan kare toplamı hata fonksiyonunu (maliyet fonksiyonu) J 'yi minimize etmektedir. (1) denkleminde: k : küme sayısını, x : veri setindeki herhangi bir veri noktasını, $C_j.v$: j -kümesinin merkez noktasını (centroid), $C_j.X$: j -kümesindeki elamanları göstermektedir.

$$J = \sum_{j=1}^k \sum_{x \in C_j} \min ||x - C_j.v||_2^2 \quad (1)$$

Verinin şekline ve türüne göre tasarlanmış birçok popüler kümeleme algoritması bulunmaktadır [22]. Elimizdeki verinin seyrek yapıda olması, boyutundan ve gösterim şeklinin dendrogram adı verilen, ağaç benzeri yapılarla kolay anlaşılabilir olması nedeniyle hiyerarşik kümeleme yöntemleri tercih edilmiştir. $\Delta = \{x_0, \dots, x_n\}$ elimizdeki veri seti ve her bir veri noktası $x_i \in \mathbb{R}^d$, d -boyutlu bir vektör olsun. Hiyerarşik kümeleme algoritmaları, yinelemeli olarak Δ 'yı C_1, C_2, \dots, C_ℓ ($\ell \leq n$) tane kümeye parçalamaktadır. Hiyerarşik kümeleme algoritmaları, diğer kümeleme algoritmalarından farklı olarak, kümeleme işlemine başlamadan önce, küme sayısı verilmeden,

aglomeratif ve ayırıcı olarak adlandırılan iki farklı yaklaşımla veriyi kümelere ayırmaktadır. Ayırıcı hiyerarşik kümeleme yöntemleri, aglomeratif hiyerarşik kümeleme metotlarına göre daha az yaygınlıkla kullanılmakta olup, yukarıdan aşağıya (top-down) hiyerarşik kümeleme yöntemi olarak da bilinmektedir. Ayrıca, ayırıcı hiyerarşik kümelemede, aglomeratif kümelemeden farklı olarak ilk adımda bütün veri noktaları bir küme olarak kabul edilip, her bir kümede bir veri noktası kalana kadar Δ parçalanmaktadır. Hiyerarşik kümelemede istenilen sayıda küme elde edilmesi işlemi dendrogram'ın kesilmesi olarak adlandırılmaktadır.

2.1.1. Aglomeratif (Agglomerative) Hiyerarşik Kümeleme

Aşağıdan yukarıya hiyerarşik kümeleme algoritması olarak da bilinmektedir. Aşağıda verilen algorithm 1 aglomeratif hiyerarşik küme algoritmasının detaylarını göstermektedir. Algoritmanın girdi parametreleri veri matrisi Δ , yakınlık/uzaklık/benzerlik/farklılık metriği M (satur 1) ve çıktısı n veri noktasından bir küme oluşumunu gösteren dendrogram'dır (satur 2). İlk adımda (satur 4) her bir veri noktası bir küme olarak kabul edilip, veri noktaları arasındaki uzaklığı/yakınlığı/benzerlik/farklılığı gösteren $n \times n$ uzaklık/yakınlık (benzerlik/farklılık) matrisi T hesaplanır. Daha sonra yinelemeli olarak T baz alınarak her bir adımda küme sayısı bir azaltılarak sadece bir küme elde edilene kadar en yakın iki küme birleştirilip, T güncellenir (satur 6-11). Aglomeratif hiyerarşik kümelemenin sonucunu kullanılan yakınlık/uzaklık/benzerlik/farklılık metriği M ve her bir adımda uzaklık/yakınlık (benzerlik/farklılık) matrisi T 'nin güncellenme şekli belirlemektedir. Bu yöntemler linkage yöntemleri olarak adlandırılmakta olup, kullanılan verinin yapısına göre avantajlı ve dezavantajlı tarafları bulunmaktadır. Bu yöntemlerden en yaygın olanlarından bazıları detaylı olarak aşağıda açıklanmıştır. Bunların dışında Average, Ward, Mean, Mcquitty, Median diğer bilinen linkage metotlarıdır.

Algorithm 1: Δ üzerinde Aglomeratif Hiyerarşik Kümeleme

1. **INPUT** veri seti Δ , uzaklık/yakınlık (benzerlik/farklılık) metriği M , örneğin; $d: \Delta^2 \rightarrow \mathbb{R}_{\geq 0}$
2. **OUTPUT** n -kümeden bir küme oluşumunu gösteren dendrogram
3. %% $d \times d$ uzaklık/yakınlık (benzerlik/farklılık) matrisi T 'yi %% hesapla
4. $\Delta_{prox} \leftarrow \Delta$
5. %% Her bir veri noktası bir küme olsun.
6. **repeat**
7. En yakın/benzer iki kümeyi birleştir.
8. %% Δ_{prox} linkage tekniklerine göre güncellenir.
9. %% Örneğin; single, complete, ward.
10. Δ_{prox} 'u güncelle
11. **until** Sadece bir tane küme kalana kadar.

2.1.1.1. Single (Min)

En yakın iki küme birleştirildikten sonra, bu iki birleştirilen kümelerin diğer kümelere olan uzaklığı, bu iki birleştirilen kümeden yakın/benzer olanına göre hesaplanıp, uzaklık/yakınlık (benzerlik/farklılık) matrisi T güncellenir. Örneğin; C_i ve C_j

iterasyon (t)-de birleştirilen iki küme ve C_p iterasyon (t)'de bu iki küme dışında başka bir küme olsun. T güncellenirken C_i ve C_j 'nin C_p 'ye olan uzaklığı single linkage ile şu şekilde hesaplanmaktadır.

$$\min_{i,j,p \leq |\Delta|} [d(C_i, C_p), d(C_j, C_p)] \quad (2)$$

2.1.1.2. Complete (Max)

En yakın iki küme birleştirildikten sonra, bu iki birleştirilen kümelerin, diğer kümelere olan uzaklığı, bu iki birleştirilen kümeden uzak/farklı olanına göre hesaplanıp, uzaklık/yakınlık (benzerlik/farklılık) matrisi T güncellenir. Örneğin; C_i ve C_j iterasyon (t)-de birleştirilen iki küme ve C_p iterasyon (t)'de bu iki küme dışında başka bir küme olsun. T güncellenirken C_i ve C_j 'nin C_p 'ye olan uzaklığı complete linkage ile aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\max_{i,j,p \leq |\Delta|} [d(C_i, C_p), d(C_j, C_p)] \quad (3)$$

2.1.1.3. Centroid (Mean)

En yakın iki küme birleştirildikten sonra, bu iki birleştirilen kümelerin diğer kümelere olan uzaklığı, bu iki birleştirilen kümenin merkezlerinin, bu iki kümenin dışındaki kümelere olan uzaklıkları baz alınarak, uzaklık/yakınlık (benzerlik/farklılık) matrisi T güncellenir (yakın olanına göre). Örneğin; $C_i.v$ ve $C_j.v$ iterasyon (t)-de birleştirilen iki kümenin merkezi ve $C_p.v$ iterasyon t 'de bu iki küme dışında bir küme olsun. T güncellenirken C_i ve C_j 'in C_p 'ye olan uzaklığı centroid linkage ile şu şekilde hesaplanmaktadır.

$$\min_{i,j,p \leq |\Delta|} [d(C_i.v, C_p.v), d(C_j.v, C_p.v)] \quad (4)$$

2.2. Metin Madenciliği

Metin madenciliği (text mining); yapılandırılmamış metin içerisindeki saklı, önemli ve anlamlı olan kalıpları ortaya çıkarmak için, yapılandırılmamış metnin yapılandırılmış biçime dönüştürülme sürecidir [23,24]. Metin madenciliği tekniklerinden; organizasyonel araştırma [25], finans [26], turizm (turistik mekanlar için yapılan incelemelerin anlaşılması) [27], sosyal medya [28] gibi yapılandırılmamış metnin bulunduğu birçok alanda faydalanılmaktadır. [29], metin madenciliği tekniklerinin literatürünü içermektedir. Metin madenciliğinin kullanım alanlarından bir tanesi, yapılandırılmamış bir metinde kullanılan en önemli kelimelerin tespit edilmesidir [30]. Tag cloud ya da world cloud [31] olarak bilinen metin bulutu, bir metindeki en önemli kelimelerin tespiti için edat ve bağlaç benzeri anlamsız kelimelerin veriden çıkarıldıktan sonra bu metinde bulunan kelimelerin görsel olarak çizdirilmesidir. Bu tür görsellerde kelimeler, kullanım sıklıklarına göre boyutlandırılmaktadır. Hastalık belirtileri metni içerisinde, en sık kullanılan kelimelerin kelime bulutu, hastaların tedavi alanını seçerken en çok zorlanabileceği kelimelerin tespitinin yapılabilmesi için kullanılmıştır.

2.3. Veri Seti

Bu çalışmada T.C. Sağlık Bakanlığına bağlı hastanelerin, resmî internet sitelerinde, hastalara tedavi için randevu alırken doğru tıbbi tedavi alanı seçerken yardımcı olmak için kullandıkları "Nerde muayene olmalıyım?" adlı metin, veri seti olarak kullanılmıştır. Bu veri seti, 13 tane tıbbi tedavi alanı hakkında 204 tane belirtiyi metin olarak içermektedir. Bu veri setindeki tıbbi alan isimleri ve her bir alanla ilgili verilen belirti

sayıları Tablo 1’de gösterilmiştir. Kullanılan veri setinin benzer versiyonları birçok kamu hastanesinin sitesinde bulabilmekle birlikte, bu çalışmada kullanılan veri seti T.C. İstanbul İl Sağlık Müdürlüğü Sancaktepe Şehit Prof. Dr. İlhan Varank Eğitim ve Araştırma Hastanesinin web sitesinden alınmıştır [32].

Bu çalışmada, tıbbi tedavi alanların birbirine yakınlığını/benzerliğini hesaplayabilmek için, her bir belirtinin her bir alanda var olup olmadığını gösteren ilişkisel veri seti oluşturulmuştur. Bu veri seti oluşturulurken metin içinde verilen 204 belirtiden farklı tıbbi tedavi alanlarında kullanılan aynı belirtiler sadece bir kez sayılarak toplam belirti sayısı 186’ye indirilip, 13x186 döküman matrisi elde edilmiştir (1: Belirtinin olduğunu, 0: Belirtinin olmadığını göstermektedir). Oluşturulan bu veri seti seyrek (sparse) veri setidir. Tablo 2’de bu veri setinin küçük bir örneği ve Şekil 1’de belirti sayılarının alanlar üzerindeki dağılımı gösterilmiştir.

Tablo 1: Veri Seti Özeti: Her Bir Tıbbi Alan İçin Verilen Belirti Sayıları.

Tıbbi Tedavi Alanı	Belirti Sayısı
Dahiliye (İç Hastalıkları)	10
Kulak Burun Boğaz (KBB)	20
Enfeksiyon Hastalıkları	14
Genel Cerrahi (Hariciye)	23
Nöroloji	17
Dermatoloji (Cildiye)	21
Ortopedi	13
Üroloji	18
Psikiyatri	24
Göz Hastalıkları	11
Kardiyoloji	5
Plastik Cerrahi	19
Göğüs Hastalıkları	9

Tablo 2: Veri Setinin Küçük Bir Örneği.

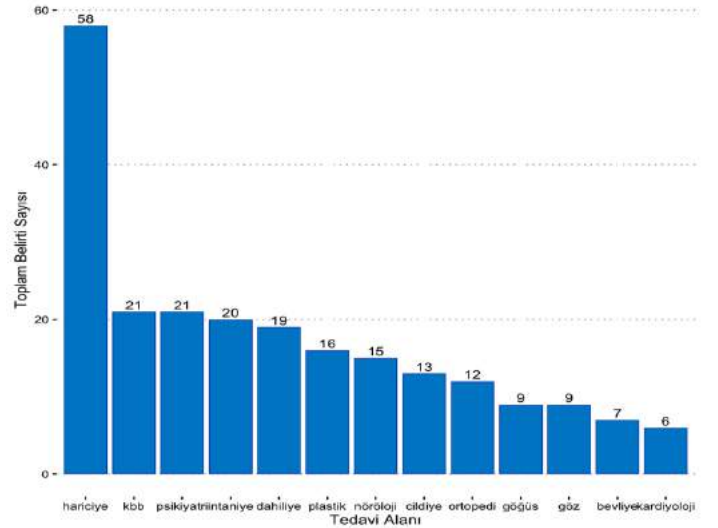
	ağız kuruluğu	göğüs ağrısı	kolağrısı	sık idararçıkma	karn ağrısı	mide ağrısı	mide ekimesi	gastrit
dahiliye	1	1	1	1	1	1	1	1
kbb	0	0	0	0	0	0	0	0
intaniye	0	0	0	0	1	0	0	0
hariciye	0	0	0	0	1	1	0	0
nöroloji	0	0	0	0	0	0	0	0
cildiye	0	0	0	0	0	0	0	0
ortopedi	0	0	0	0	0	0	0	0
beviye	0	0	0	1	0	0	0	0
psikiyatri	0	0	0	0	0	0	0	0
göz	0	0	0	0	0	0	0	0
kardiyoloji	0	0	0	0	0	0	0	0
plastik	0	0	0	0	0	0	0	0
göğüs	0	1	0	0	0	0	0	0

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Kelime Bulutu ile Metnin İncelenmesi

Kullanılan metin içerisinde hangi kelimelerin/semptomların hastaları randevu alırken zorladığını veya yanlış alanlardan randevu almalarına sebep olduğunu tespit etmek için metin içerisinde geçen kelimelerin kullanılma sıklığı kelime bulutu (word cloud) görseli çizdirilerek gözlemlenip, analiz edilmiştir. Bu görsel çizdirilmeden önce metin içerisinde geçen edat bağlaç

gibi anlamsız kelimeler (stop words) öncelikle tespit edilip bu sayımın dışında bırakılmıştır. Bu kelimelerin listesi Tablo 3’te verilmiştir. Anlamsız kelimelerin sayım dışı tutulması dışında, aynı anlama sahip farklı ekler almış kelimeler aynı kelime olarak sayılmıştır. Örneğin; “bozuklukları”, “bozukluğu” kelimeleri “bozukluk” kelimesi olarak sayılmıştır. Şekil 2’de metin içerisinde en çok kullanılan 10 kelimenin kullanılma sıklıkları ve metin içerisinde iki defadan fazla kullanılan kelimelerin kelime bulutu gösterilmiştir. Anlamsız kelimelerinin silinmesinden sonra geriye 410 tane kelime kalmıştır. Bu kelimelerin 307 tanesi 1 defa, 49 tanesi 2 defa, 26 tanesi 3 defa ve geriye kalan 28 kelime 4 ve üzeri sayıda metin dosyasında karşımıza çıkmaktadır. “ağrı” ve “bozukluk” kelimeleri açık ara diğer kelimelerden daha fazla sayıda 38, 21 defa metin içerisinde kullanılmıştır. En çok kullanılan 10 kelimenin alanlarla ve belirtiler içerisinde kullanılma şekli ile ilgili detaylı analiz aşağıda verilmiştir.



Şekil 1: Oluşturulan Dönem Matrisinde Belirti Sayılarının Alanlara Göre Dağılımı.

Tablo 3: Metinden Çıkarılan Kelimeler.

Metinden Silinen Kelimeler (Stop Words)
"bir", "eden", "herhangi", "iki", "hastalıklarda", "ile", "gibi", "gibi", "kendini", "olarak", "hastalıkları", "hastalığı", "hastalık", "şikayetleri", "fakat", "için", "ya da", "olarak", "buna", "veya"

Tablo 5: Bozukluk Kelimesinin İstatistikleri ve Analizi.

Bozukluk Tipi	Tıbbi Tedavi Alanı
Burunda Şekil Bozukluğu	KBB, Plastik Cerrahi
Konsantrasyon	Genel Cerrahi
Tırnak	Cildiye
Sosyalleşme, Davranış, Uyku, Kaygı, Kişilik, Bipolar, Şizoeffektif, Karşı gelme	Psikiyatri
Görme netliği bozukluğu	Göz Hastalıkları
Kulak şekil / bozuklukları	Plastik Cerrahi

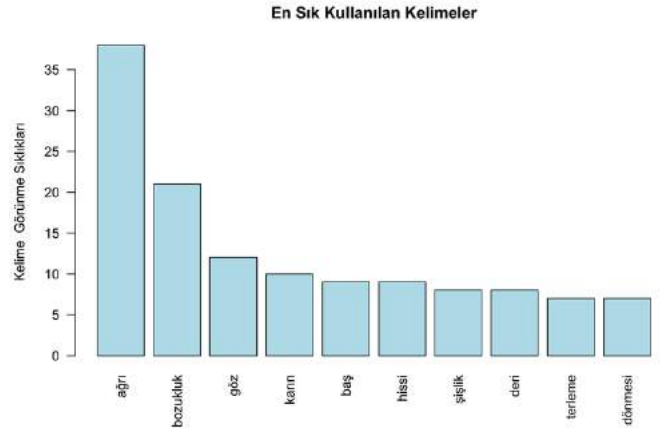
Tablo 4: Ağrı Kelimesinin İstatistikleri ve Analizi.

Bölge/Uzuv	Tıbbi Tedavi Alanı
Göğüs	Dahiliye, Göğüs Hastalıkları
Karın	Dahiliye, Enfeksiyon Hastalıkları, Genel Cerrahi
Mide	Dahiliye
Baş	Dahiliye, Nöroloji, Göz Hastalıkları
Boğaz	KBB
Kulak	KBB
Ayak	KBB
Meme	Genel Cerrahi
Sırt	Genel Cerrahi
Göbek	Genel Cerrahi
Kasık	Genel Cerrahi
Yüz	Nöroloji
Eklem	Ortopedi
Bacak/Boyun/Fıtık/Kalça	Ortopedi
Kas	Ortopedi
Bel	Ortopedi
Testis	Üroloji
Göz	Göz Hastalıkları
Kol	Kardiyoloji

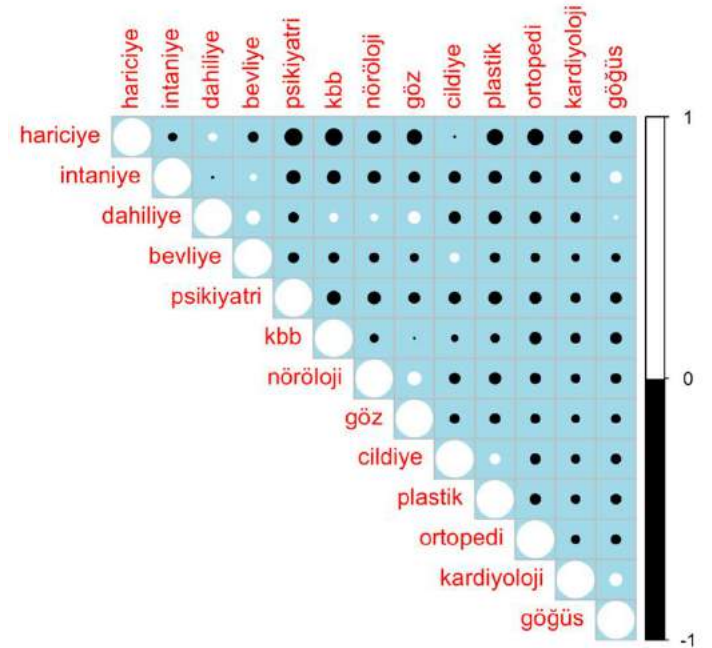
Ağrı: Ağrı kelimesi bölgesel ya da uzuvsal 19 farklı ağrıyı anlatmak için kullanılmış olup, bu belirtiler 10 farklı tıbbi tedavi alanı ile ilişkilendirilmiştir. Genel Cerrahi için 5 farklı belirtiyi; Dahiliye ve Ortopedi bölümleri için 4 farklı belirtiyi; KBB için 3; Nöroloji ve Göz Hastalıkları için 2; Göğüs Hastalıkları, Enfeksiyon Hastalıkları, Üroloji ve Kardiyoloji Bölümleri içinde 1'er belirtiyi anlatmak için kullanılmıştır. Bu belirtiler içerisinde karın ağrısı ve baş ağrısı 3'er tedavi branşı ile ilişkilendirilmesi sebebiyle seçim konusunda hastaları en çok zorlayacak belirtiler olarak göze çarpmaktadır. Ayrıca göğüs ağrısı iki alanla ilişkilendirilmiştir. Tablo 4'te ağrı kelimesinin bölümlere göre detaylı analizi gösterilmiştir.

Bozukluk: Bozukluk kelimesi en çok kullanılan ikinci kelime olmasına rağmen hastaları tedavi alanı seçimi yaparken zorlayacak kelimeler arasında yer almamaktadır. 13 bozukluk belirtisin 8 tanesi sadece Psikiyatri bölümüyle ilgilidir. Plastik Cerrahi ile ilgili 2; Cildiye, Genel Cerrahi, Göz Hastalıkları ve KBB ile ilgili 1'er belirti bulunmaktadır. Sadece "burunda şekil bozukluğu" tedavisi ile birden fazla alan ilgilenmektedir. Tablo 5'te "bozukluk" kelimesinin daha ayrıntılı olarak istatistikleri verilmiştir.

Göz, Karın, Baş, Hissi, Şişlik, Deri, Terleme, Dönmesi, Kelimelerinin Analizi: En çok kullanılan kelimeler analizinin sadeliği ve daha anlaşılır olması için, ağrı ve bozukluk kelimelerinden sonra en çok kullanılan diğer kelimelerin incelenmesi tablo halinde verilmiştir. Bu bölümde bu kelimeler ile ilgili önemli olan noktalara değinilmiştir. Tablo 6, ağrı ve bozukluk kelimelerinden sonra en sık kullanılan 8 kelimenin analizini içermektedir.



Şekil 2: En Sık Kullanılan Kelimeler ve Kelime Bulutu.



Şekil 3: Tedavi Alanları Arasındaki Kendall Korelasyonu.

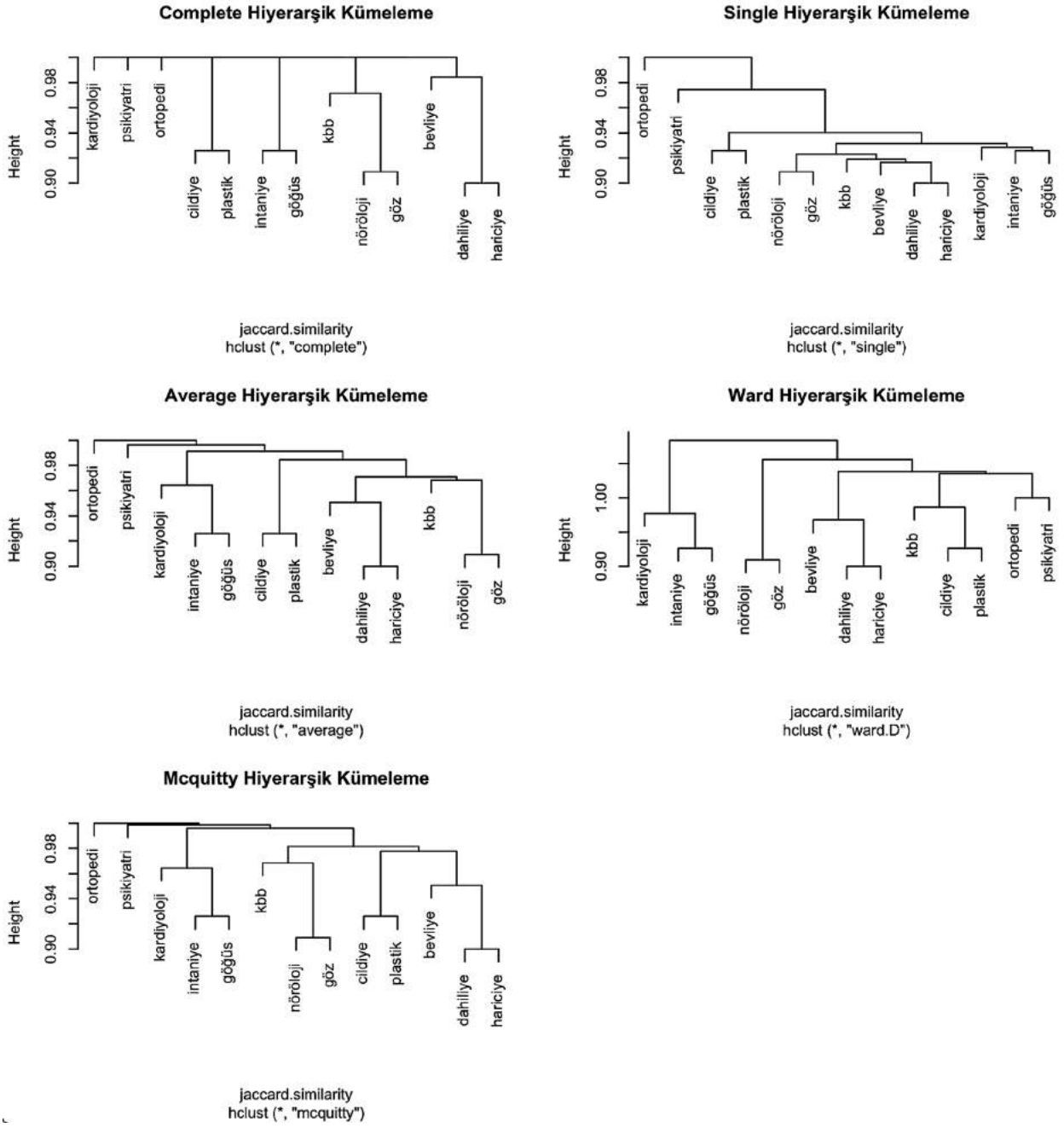
3.2. Metne Dayalı Tedavi Alanlarının Birbirine Yakınlıklarının Ölçülmesi

Metinde bulunan ve hastaları randevu alırken zorlayan belirtilerin ve kelimelerin tespiti ve analizini yaptıktan sonra, verilen metne göre, hastalık belirtilerinin her bir tedavi alanında var olup olmadığını gösteren döküman matrisi oluşturulmuştur. Öncelikle, bu ikili veri seti üzerinde Kendall korelasyon katsayısı hesaplanarak; tıbbi alan metinlerinin birbiriyle korelasyonu gözlemlenmiştir. Şekil 3'te görüldüğü üzere metin bazlı alanlar arasında aşırı olmayan korelasyonlar gözlenmektedir. Bunun yanında, tıbbi alanlar bu döküman matrisi kullanılarak, hiyerarşik kümeleme algoritmaları üzerinde kümelere ayrılıp, metin bazlı alanların birbirine yakınlığı ölçümü yapılmıştır. Buradaki amacımız birbirine yakın kümeleri tespit etmektir. Her bir küme bir tedavi alanını temsil ettiği için iki kümenin birbirine yakın olması, alanlar arasında metin benzerliğinin yüksek olmasını göstermektedir. Hiyerarşik kümeleme algoritmasının girdi parametrelerinden biri olan uzaklık/yakınlık matrisi olarak Jaccard yakınlık metriği kullanılmıştır. Jaccard metriğine göre alanlar arası metin bazlı benzerlik genel olarak düşük olarak görülmesine rağmen, birbirine en çok benzeyen alan metinlerinin tespiti için hiyerarşik kümeleme teknikleri kullanılmıştır. Şekil 4 oluşturduğumuz dönem matrisinin (term matrix) farklı aglomeratif hiyerarşik kümeleme yöntemleri ile kümeleme sonuçlarını göstermektedir. Linkage metotları olarak single, complete, average, ward and mcquitty kullanılmıştır. Şekil 4 incelendiğinde Ortopedi ve Psikiyatri için kullanılan metinlerin bütün sonuçlarda diğer alanlarla benzerliğinin düşük olduğu görülmektedir. Bu sonucun dışında metin bazlı alanlar arasında aşağıdaki belirtilen sonuçlar dikkat çekmektedir:

- İntaniye, Göğüs Hastalıkları ve Kardiyoloji bölümleri arasında metin bazlı benzerlik olmasına rağmen; Göğüs Hastalıkları, İntaniye branşları arasındaki metne bağlı benzerlik oranı Kardiyolojiye göre daha yüksektir.
- Nerdeyse bütün sonuçlarda Göz Hastalıkları ve Nöroloji bölümleri arasındaki belirti bazlı yakınlık diğer bölümlerin bu iki bölüme yakınlığından daha fazladır.
- Cildiye ve Plastik Cerrahi alanları bütün sonuçlarda birbirine en yakın kümeler olarak göze çarpmaktadır.
- Dahiliye ve Hariciyenin birbirine en yakın kümeler olduğu ve bu iki kümenin birleşimin en yakın kümesinin her zaman bevliye olduğu görülmektedir.
- KBB bölümüyle alakalı metnin en karışık metin olduğu görülmektedir. KBB kümesi bazen Nöroloji ve Göz Bölümlerinin birleşimin en yakın kümesi, bazen cildiye ve plastiğin birleşime en yakın küme, bazen de hariciye dahiliye ve bevliye kümelerinin birleşimine en yakın küme durumundadır.

Tablo 6: Ağrı ve Bozukluk Kelimeleri ile En Çok Kullanılan Kelimelerin İstatistikleri ve Analizi.

Kelime	Analiz
Göz	Göz kelimesi 4 tedavi alanını içeren 13 belirtti için kullanılmıştır. Bu belirtilerin 7 tanesi Göz Hastalıkları, 3 tanesi Genel Cerrahi, 2 tanesi Plastik Cerrahi ve 1 tanesi İntaniye branşlarıyla ilgilidir. Hiçbir belirti birden fazla branşla ilgili değildir.
Karın	3 belirti 3 alan ile ilişkilendirilmiştir. 2 belirti sadece Genel Cerrahi ile ilgi olmasına rağmen, karın ağrısı belirtisi Dahiliye, Enfeksiyon ve Genel Cerrahi Bölümleri ile ilişkilendirilmektedir.
Baş	2 belirti 4 branşla eşleşmektedir. Sorunun anlaşılmasını güçlendiren bir kelime olarak dikkat çekmektedir. Baş ağrısı Nöroloji, Dahiliye, ya da Göz Hastalıkları ile ilgili olabilmesine rağmen; Baş dönmesi, Dahiliye, KBB Nöroloji veya Göz Hastalıkları bölümleri ile alakası bulunabilmektedir.
Hissi	6 branş içeren 12 belirti için kullanılmasına rağmen hiçbir belirtinin birden fazla alanla alakası olmadığı için, hastalara zorluk çıkaran kelimelerden bir tanesi değildir. His ile ilgili belirtiler; Genel Cerrahi, Nöroloji, Ortopedi, Üroloji, Göz Hastalıkları, Kardiyoloji ilgili bölümlerden birine işaret etmektedir.
Şişlik	8 belirti, 3 alan (Genel, Cerrahi Enfeksiyon, Üroloji) ile ilişkilendirilmiştir. Bu belirtilerden sadece bacaklardaki şişlik birden alanla ilgili bir sorunu göstermektedir (Genel Cerrahi, Enfeksiyon).
Deri	8 belirti, 3 branşla ilişkilendirilmiştir. Sadece deri kanseri belirtisi birden fazla tedavi alanı ile ilişkilendirilmiştir (Cildiye, Plastik Cerrahi).
Terleme	4 farklı terleme başlığı altında, 6 branş içeren sorunlu kelimelerden bir tanesidir. Terleme belirti olarak Dahiliye, Enfeksiyon Hastalıkları, Genel Cerrahi, Cildiye, Göğüs Hastalıkları ile ilgili sorunlara işaret etmektedir.
Dönmesi	Kıl dönmesi ve baş dönmesi olmak üzere 2 belirti için kullanılmıştır. Baş dönmesi analizi baş kelimesi altında yapılmıştır. Kıl dönmesi sadece Cildiye branşı ile ilgili bir soruna işaret etmektedir.



Şekil 4: Tedavi Alanlarının Hastalık Belirtilerine göre Farklı Hiyerarşik Kümeleme Algoritmaları ile Kümelenmesi.

4. Sonuç

Bu çalışmada, T.C. Sağlık Bakanlığına bağlı birçok kamu hastanesinin, hastaların doğru tedavi alanından randevu alabilmelerine yardımcı olmak için kullandığı "Nerde muayene olmalıyım?" başlıklı metin, metin madenciliği, veri bilimi ve makine öğrenimi tekniklerini kullanarak analiz edilip, önemli görülen sonuçlar paylaşılmıştır. Öncelikle, metin veri seti kullanılarak, hastaları randevu alırken en çok zorlayan kelimeler (anahtar kelimeler, hastalık belirtikeri) kelime bulutu ile tespit edilip, gösterilmiştir. Daha sonra farklı hiyerarşik kümeleme algoritmaları ve kendall korelasyonu kullanılarak, metin bazlı tıbbi tedavi alanlarının birbirine yakınlığı/benzerliği tespit edilip, tıbbi tedavi alanları için kullanılan açıklamaların hastaları doğru yönlendirebilmesi için yeterli olup olmadığı hesaplanmıştır.

Kelime bulutu üzerinde hastaları en çok zorlayan kelimelerin ağrı, karın, baş, dönmesi, terleme ve şişlik kelimeleri olduğu görülmektedir. Bu kelimelerden oluşan baş dönmesi, baş ağrısı, karın ağrısı, bacak şişliği ve terleme belirtilerinin birçok tedavi alanıyla ilişkisi olmasından dolayı, hastaları randevu alırken en çok zorlayan belirtiler olduğu göze çarpmaktadır. Bu belirtilerin başka belirtilerle desteklenmesi, yanlış tedavi alanlarından alınan randevu sayısının düşürülmesine faydası olacaktır. Tıbbi tedavi alanları, belirti bazlı oluşturduğumuz döküman matrisi veri seti üzerinde aglomeratif hiyerarşik kümeleme yöntemleri ile guruplara ayrılıp, tedavi alanları için kullanılan metinlerin birbirine benzerliği ölçülmüştür. Daha iyi değerlendirme yapılabilmesi için ayrıca Kendall korelasyonundan faydalanılmıştır. Oluşturulan dendrogramlar baz alındığında, Psikiyatri ve Ortopedi alanları için kullanılan metinlerin diğer

alanlar için kullanılan metinlere göre daha açıklayıcı olduğu görülmektedir. Çünkü, kümeler (tedavi alanları) birbirine uzaklıklarına göre, dendrogram üzerinde aşağıdan yukarıya doğru sıralanmışlardır. Bunun yanında KBB için kullanılan metnin farkı hiyerarşik kümeleme algoritmaları için farklı sonuçlar göstermesi sebebiyle en problematik açıklamaya sahip olduğu anlaşılmaktadır. Bunların yanında (Göz, Nöroloji), (İntaniye, Göğüs Hastalıkları), (Cildiye, Plastik Cerrahi), (Dahiliye, Hariciye) ikilileri birbirine en çok benzeyen metinlere sahiptirler. Bunlara ek olarak, Kardiyolojinin en çok benzerlik gösterdiği metin Dahiliye ve Hariciye metinleridir.

Bu çalışma baz alınarak “Nerde muayene olmayım?” metninin sağlık uzmanları tarafından tekrar düzenlenmesinin, yanlış randevu sayısının azaltılmasına faydaları olacaktır. Ayrıca, yapay zekâ tabanlı oluşturulacak randevu sistemlerinde, sistemlerin performansını artırabilecek sonuçlara ulaşılmıştır. Örneğin; hastaların tedavi alanı sistem tarafından belirlenirken, sorulacak sorular içerisinde hangi belirtilerin olmaması gerektiğinin tesbiti yapılmıştır. Son olarak, bu çalışma için üretilen seyrek (sparse) veri seti ve R programlama dilinde yazılan programlar eğitim ve araştırma amaçlı kullanılabilmesi için kamuya açık bir şekilde (open source) paylaşılmıştır. Bu çalışmanın devamında buradaki bilgiler kapsamında yapay zekâ tabanlı hastane randevu sisteminin kurulması hedeflenmektedir.

Kaynakça

- [1] Yavuz, İ., & Cagiltay, N. E. (2019). E-nabız Mobil Sağlık Uygulamasına Yönelik Kullanıcı Değerlendirmesi. *Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi*, 22(2), 375-388.
- [2] Vos, T., Barber, R. M., Bell, B., Bertozzi-Villa, A., Biryukov, S., Bolliger, I., ... & Duan, L. (2015). Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 301 acute and chronic diseases and injuries in 188 countries, 1990–2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013. *The Lancet*, 386(9995), 743-800.
- [3] Hengstler, M., Enkel, E., & Duelli, S. (2016). Applied artificial intelligence and trust—The case of autonomous vehicles and medical assistance devices. *Technological Forecasting and Social Change*, 105, 105-120.
- [4] Zang, Y., Zhang, F., Di, C. A., & Zhu, D. (2015). Advances of flexible pressure sensors toward artificial intelligence and health care applications. *Materials Horizons*, 2(2), 140-156.
- [5] Yu, K. H., & Andrew, L. (2018). Beam, and Isaac S. Kohane. *Artificial intelligence in healthcare. Nature biomedical engineering*, 2(10), 719-731.
- [6] Tan, A. H. (1999). Text mining: The state of the art and the challenges. In *Proceedings of the pakdd 1999 workshop on knowledge discovery from advanced databases* (Vol. 8, pp. 65-70). sn.
- [7] Banerjee, S., Carlin, B. P., & Gelfand, A. E. (2014). *Hierarchical modeling and analysis for spatial data*. CRC press.
- [8] Aggarwal, C. C., & Zhai, C. (Eds.). (2012). *Mining text data*. Springer Science & Business Media.
- [9] Kolaczyk, E. D., & Csárdi, G. (2014). *Statistical analysis of network data with R* (Vol. 65). New York, NY: Springer.
- [10] Karimi, S., Wang, C., Metke-Jimenez, A., Gaire, R., & Paris, C. (2015). Text and data mining techniques in adverse drug reaction detection. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 47(4), 1-39.
- [11] Mittermayer, M. A. (2004). Forecasting intraday stock price trends with text mining techniques. In *37th Annual Hawaii International Conference on System Sciences. Proceedings of the (pp. 10-pp)*. IEEE
- [12] <https://github.com/hasankurban/Hospital-Appointment>
- [13] Kurban, H., Jenne, M., & Dalkilic, M. M. (2017). Using data to build a better EM: EM* for big data. *International Journal of Data Science and Analytics*, 4(2), 83-97.
- [14] Mohsen, H., Kurban, H., Zimmer, K., Jenne, M., & Dalkilic, M. M. (2015). Red-rf: Reduced random forest for big data using priority voting & dynamic data reduction. In *2015 IEEE International Congress on Big Data* (pp. 118-125). IEEE.
- [15] Uylaş S., N. (2018). A collective learning approach for semi-supervised data classification. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 24(5).
- [16] Buşoniu, L., Babuška, R., & De Schutter, B. (2010). Multi-agent reinforcement learning: An overview. In *Innovations in multi-agent systems and applications-1* (pp. 183-221). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [17] Beil, F., Ester, M., & Xu, X. (2002). Frequent term-based text clustering. In *Proceedings of the eighth ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining* (pp. 436-442).
- [18] Liu, T., Liu, S., Chen, Z., & Ma, W. Y. (2003). An evaluation on feature selection for text clustering. In *Proceedings of the 20th international conference on machine learning (ICML-03)* (pp. 488-495).
- [19] Aggarwal, C. C., & Zhai, C. (2012). A survey of text clustering algorithms. In *Mining text data* (pp. 77-128). Springer, Boston, MA.
- [20] Suarez-Tangil, G., Tapiador, J. E., Peris-Lopez, P., & Blasco, J. (2014). Dendroid: A text mining approach to analyzing and classifying code structures in android malware families. *Expert Systems with Applications*, 41(4), 1104-1117.
- [21] Jenne, M., Boberg, O., Kurban, H., & Dalkilic, M. (2014). Studying the milky way galaxy using paraheap-k. *Computer*, 47(9), 26-33
- [22] Xu, R., & Wunsch, D. (2005). Survey of clustering algorithms. *IEEE Transactions on neural networks*, 16(3), 645-678.
- [23] Jo, T. (2019). Text mining. *Studies in Big Data*. Cham: Springer International Publishing.
- [24] Tan, A. H. (1999). Text mining: The state of the art and the challenges. In *Proceedings of the pakdd 1999 workshop on knowledge discovery from advanced databases* (Vol. 8, pp. 65-70). sn.
- [25] Kobayashi, V. B., Mol, S. T., Berkers, H. A., Kismihók, G., & Den Hartog, D. N. (2018). Text mining in organizational research. *Organizational research methods*, 21(3), 733-765.
- [26] Pejić Bach, M., Krstić, Ž., Seljan, S., & Turulja, L. (2019). Text mining for big data analysis in financial sector: A literature review. *Sustainability*, 11(5), 1277.
- [27] Aksu, M. Ç., & Karaman, E. (2020). FastText ve Kelime Çantası Kelime Temsil Yöntemlerinin Turistik Mekanlar İçin Yapılan Türkçe İncelemeler Kullanılarak Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 311-320.
- [28] Salloum, S. A., Al-Emran, M., Monem, A. A., & Shaalan, K. (2017). A survey of text mining in social media: facebook and twitter perspectives. *Adv. Sci. Technol. Eng. Syst. J*, 2(1), 127-133.
- [29] Allahyari, M., Pouriyeh, S., Assefi, M., Safaei, S., Trippe, E. D., Gutierrez, J. B., & Kochut, K. (2017). A brief survey of

text mining: Classification, clustering and extraction techniques. *arXiv preprint arXiv:1707.02919*.

[30] Koyun, A., & Yangeç, D. (2018). Veri Madenciliği Teknikleri Yardımıyla Otel Yorumlarından Anahtar Kelimeler Keşfi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (14), 261-268.

[31] Dunaiski, M., Greene, G. J., & Fischer, B. (2017). Exploratory search of academic publication and citation data using interactive tag cloud visualizations. *Scientometrics*, 110(3), 1539-1571.

[32] <https://sancaktepeah.saglik.gov.tr/TR,250181/nereye-muayene-olmaliyim.html>.



Polen Taşıyan Bal Arılarının MobileNetV2 Mimarisi ile Sınıflandırılması

Yusuf Yargı Baydilli^{1*}

¹ Hakkari Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4457-2081)

(İlk Geliş Tarihi 7 Aralık 2020 ve Kabul Tarihi 31 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.836856)

ATIF/REFERENCE: Baydilli, Y.Y. (2021). Polen Taşıyan Bal Arılarının MobileNetV2 Mimarisi ile Sınıflandırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 527-533.

Öz

Bal arıları çiçeklerden topladıkları polenlerin bir kısmını kovanlarına taşıyarak kovanın enerji ihtiyacını karşılamaya çalışırlar. Bu nedenle, kovana giren bal arılarından polen taşıyanların tespit edilmesi, kovanın sağlığı hakkında iyi bir indikatör olarak görev yapmaktadır. Bu çalışmada, polen taşıyan bal arılarının doğru bir şekilde sınıflandırılmasına yönelik bir çözüm geliştirmek amacıyla, bal arıları görüntüleri kullanılarak bir MobileNetV2 derin öğrenme mimarisi eğitilmiştir. Veriye göre seçilen doğru eğitim stratejisinin sonuçlara yaptığı katkı sorgulanmış, ince ayar yöntemi ile eğitilen modelin test verisi üzerindeki başarı oranı %99,00 olarak ölçülmüştür. Çalışma sonunda, arı çiftçilerinin mobil cihazlar ile arı kovanının genel durumu hakkında başarılı bir şekilde yorum yapabileceği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Polen taşıyan bal arıları, derin öğrenme, transfer öğrenme, ince ayar, sınıflandırma.

Classification of Pollen-Bearing Honey Bees using MobileNetV2 Architecture

Abstract

Honey bees try to meet the energy needs of the hive by carrying some of the pollen they collect from flowers to their hive. Therefore, identifying those pollen-bearing honey bees entering the hive serves as a good indicator of the health of the hive. In this study, a MobileNetV2 deep learning architecture was trained using images of honey bees to develop a solution to quickly and accurately classify pollen-bearing honey bees. The contribution of the correct training strategy selected according to the data to the results was questioned, and the success rate of the model trained with the fine-tuning method on the test data was measured as 99.00%. At the end of the study, it was shown that bee farmers can quickly and successfully comment on the general condition of the bee hive using mobile devices.

Keywords: Pollen-bearing honey bees, deep learning, transfer learning, fine-tuning, classification.

* Sorumlu Yazar: Hakkari Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4457-2081), yusufbaydilli@hakkari.edu.tr

1. Giriş

“Arılar dünya üzerinden kaybolurlarsa, insanlığın sadece dört yıllık ömrü kalır. Arı olmazsa, tozlaşma olmaz, bitki olmaz, hayvan olmaz, insanlık olmaz.” Bu cümlelerin Albert Einstein tarafından, arıların insanlık için sahip olduğu önemi anlatmak için dile getirildiğine inanılmaktadır (Schönfelder & Bogner, 2017). Çünkü arılar ekosistem içerisinde oldukça önemli bir göreve sahiptir: polinasyon (tozlaşma) (Silici, 2020). Bal arıları kış aylarında hayatta kalabilmek amacıyla bal üretirler (Tüzün & Bilgili, 2013). Bal üretiminin ilk aşaması da çiçeklerden nektar toplamasıdır (Sarıgül, 2018). Bu işlem sırasında çiçeklerin erkek organlarından arıların çeşitli uzuvlarına bulaşan polenler, çiçeklerin dişi organlarına temas etmesi sonucu döllenme adı verilen işlem gerçekleşmiş olur (Sıralı et al., 2011). Bu süreç sayesinde de tohumların etrafa saçılarak bitkilerin çoğalması sağlanır. Aynı zamanda bitkilerin çiçek açmasına, meyve ve sebze üretimine doğrudan katkı sağlanır (Türkiye Arı Yetiştiricileri Merkez Birliği, 2016b). Arılar polinasyon sürecinin yaklaşık %80’inden sorumludurlar (Bağrıaçık, 2017).

Polinasyon işleminin dışında, bu küçük mucizevi yaratıklar, arı mumu (kozmetik), polen (gıda), propolis (tıp) ve arı sütü (ilaç endüstrisi) gibi farklı sektörlerde aktif olarak kullanılan oldukça faydalı ürünleri de üretmektedirler (Silici, 2014). Diğer yandan, arıların nektar arayışı sürecindeki davranışları Yapay Arı Kolonisi algoritmasına da ilham kaynağı olmuştur (Karaboga & Basturk, 2007).

Bal arıları vücudunda kalan polenlerin bir kısmını nektar ile zenginleştirerek arka bacaklarında yer alan polen sepetinde biriktirirler ve kovanlarına taşırlar (Başdoğan et al., 2019). Üretilen polenler kovandaki arılar için enerji kaynağı olarak kullanılarak yavru gelişimini mümkün kılar (Türkiye Arı Yetiştiricileri Merkez Birliği, 2016a). Aynı zamanda polenler insanoğlu için oldukça zengin protein ve vitamin kaynağı olduğundan, arı çiftçileri tarafından kovan girişine kurulan tuzaklar yardımıyla toplanmaktadır (Ankara Valiliği Gıda Tarım ve Hayvancılık İl Müdürlüğü, 2015; Bozkurt, 2020). Bu nedenlerden dolayı, kovana giren arılardan polen taşıyanların sayısı, yoğunluğu gibi nicelikler, arı çiftçilerinin hem kovanların genel sağlık durumu hem de kovanın rekoltesi hakkında yorum yapabilmelerine imkân sağlamaktadır (Babic et al., 2016).

Literatürü incelediğimizde, bal arılarının kovana giriş-çıkış sürecindeki davranışlarının veya sayılarının görsel sistemler aracılığıyla incelenmesine yönelik çalışmalar gözlemlemek mümkünüdür (Chen et al., 2012; Tu et al., 2016). Fakat, polen taşıyan arıların bilgisayarlı görü modelleriyle tespiti konusundaki çalışma sayısı oldukça azdır. Babic vd. (Babic et al., 2016) 2016 yılında gerçekleştirdikleri çalışmada Raspberry Pi kartına takılan bir kamera aracılığıyla görüntüler almışlardır. Oluşturdukları veri setinde yer alan arıların segmentasyonu sürecinde Gauss Karışım Modeli modeli kullanılan araştırmacılar, çıkarımını yaptıkları özellikleri en yakın ortalama algoritması ile sınıflandırmışlardır. Çalışma sonunda %88,70 doğruluk oranına ulaşmışlardır. Bir diğer çalışma da ise, Rodriguez vd. (Ivan F. Rodriguez et al., 2018) kamera yardımıyla kaydettikleri video görüntülerinden, polen taşıyan ve taşımayan arıları içeren kesitler olarak bir veri seti oluşturmuşlardır. Sınıflandırma aşamasında hem klasik hem de derin makine öğrenme modellerini içeren testler gerçekleştirerek en yüksek performansa ulaşmaya çalışmışlardır. Çalışma sonunda, derin transfer öğrenme yöntemlerinin yeterince başarı gösteremediğini ve en yüksek başarının en-baştan eğitilen

bir Konvolüsyonel Sinir Ağları (CNN) modeli ile elde edildiğini rapor etmişlerdir (%96,40).

En-baştan CNN eğitimi stratejisi birçok problemde başarılı olabileceği de kurulacak mimaride yer alan hiper-parametrelerin doğru optimizasyonu hala zor bir süreçtir (Feurer & Hutter, 2019). Aynı zamanda en-baştan eğitim stratejisi için oldukça fazla veri ihtiyacı bulunmaktadır (Shen et al., 2017). Fakat, literatüre yeni kazandırılan tekniklerle zenginleştirilen, aynı zamanda, hiper-parametre optimizasyonuna da ihtiyaç duymayan derin mimarilerin, transfer öğrenme veya ince ayar stratejisi ile eğitilmesi sayesinde, yüksek başarı oranlarına daha hızlı ve kesin bir şekilde ulaşmak mümkün olabilmektedir (Hendrycks et al., 2019). Diğer yandan, arı çiftçilerinin kovan girişine kurulacak yüksek maliyetli kayıt cihazları yerine mobil cihazlar ile arı kovanlarının genel durumu hakkında bilgi sahibi olmalarının da önü açılmalıdır. Dolayısıyla bu çalışmada, ince ayar eğitim yöntemi kullanılarak polen taşıyan arıların yüksek doğrulukla sınıflandırılmasına yönelik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Eğitim modeli olarak işlem maliyeti açısından hafif ve mobil uygulamalara da uygun olan MobileNetV2 mimarisi tercih edilmiştir. Çalışma sonunda doğru eğitim stratejisi ile literatürdeki diğer çalışmalara nazaran daha yüksek başarı oranlarına ulaşılabilmektedir.

Makalenin geri kalanı şu şekildedir: İkinci bölümde veri seti tanımlanmış, üçüncü bölümde ise çalışmada kullanılan model gösterilmiştir. Dördüncü bölüm elde edilen deneysel sonuçları ve tartışma bölümünü içermektedir. Son bölümde ise çalışmanın sonunda elde edilen genel kazanımlar verilmiştir.



2. Veri Seti

Çalışmamızda Rodriguez vd. tarafından oluşturulan veri seti kullanılmıştır (Ivan F. Rodriguez et al., 2018; Ivan Felipe Rodriguez, 2018). Veri setinin oluşturulması aşamasında yazarlar kovan girişine bir rampa yerleştirmişler ve bu rampayı 4 Mega piksel çözünürlüğe sahip bir kamera ile kaydetmişlerdir. Elde ettikleri birer saatlik video kayıtlarından, el yordamıyla, polen taşıyan ve taşımayan bal arılarını barındıran kesitler almışlardır. Her bir kesit sadece bir bal arısı içermektedir. Toplam 700 görüntüden oluşan veri setinin yaklaşık %15’i test verisi olarak ayrılmıştır. Veri setinin genel özellikleri ise Tablo 1’de görülebilir.

Derin öğrenme yöntemlerinin başarısı eğitimde işlediği veri sayısı ile doğru orantılıdır. Diğer bir deyişle, bir derin öğrenme modeli eğitim sırasında ne kadar farklı varyasyonda veri ile karşılaşarsa, test örnekleri üzerinde o kadar fazla genelleştirme yeteneğine sahip olur. Ne yazık ki, çoğu zaman, yeterince geniş veri seti oluşturmak mümkün olmamaktadır. Bu gibi durumlarda, modele genelleştirme yeteneği kazandırmak için veri artırma tekniklerinden faydalanılır (Perez & Wang, 2017).

Bir diğer problem de veri setinin özelliklerine göre doğru veri artırma tekniklerinin belirlenmesidir. Yanlış seçilen teknik sınıflandırmaya katkı sunmaktan ziyade başarı oranlarının önemli ölçü de azalmasına veya sınıflandırıcı modelin verinin farklı özelliklerine odaklanmasına yola açabilmektedir. Bu da negatif transfer denen fenomenin ortaya çıkmasına neden olur (Cubuk et al., 2018).

Tablo 1. Veri setinin genel özellikleri.

Bal arısı veri seti	Polen taşıyan	Polen taşımayan
Örnek görüntü		
Renk kanalı sayısı	3	
Çözünürlük	180 x 300	
Örnek Sayısı	354	346
Eğitim seti	300	300
Test seti	54	46

Bu sebeple gerek eğitim gerek test verileri incelendikten sonra, verilerde yer alan değişikliklerin genellikle görüntülerin afin transformasyon özelliklerinde gerçekleştirildiği gözlemlenmiştir. Dolayısıyla, *x*-ekseninde çevirme (*horizontal flip*), *x*-ekseninde yer değiştirme (*translate-x*), *y*-ekseninde yer değiştirme (*translate-y*), döndürme (*rotate*), makaslama (*shear*) gibi teknikler kullanılarak eğitim veri seti 3 katına çıkarılmış ve toplam 1.800 görüntü ile eğitim sürecine geçilmiştir.

3. Model

Derin öğrenmenin son on yılda bu denli popülerleşmesinin belki de en önemli nedeni yarı-iletken ve transistör teknolojisindeki gelişmelerdir (Shen et al., 2017). Bu gelişmeler sayesinde, yüksek boyutlardaki veri setlerini hızlı bir şekilde işleyen güçlü işlemci birimlerine daha az maliyetle ulaşmak mümkün olmuştur. Fakat, veri sayısı arttıkça ve problem zorlaştıkça, aynı oranda derin öğrenme modelleri de karmaşıklaşmaktadır. Eğitilecek parametre sayısı yüz milyonlar seviyesine çıkmakta, başarı artsa da hız konusunda tatminkâr sonuçlar elde edilememektedir. Bu nedenle araştırmacılar da daha az eğitim parametresine sahip, küçük ama verimli derin öğrenme mimarileri oluşturmaya yönelmişlerdir. MobileNet (Howard et al., 2017) mimarisi de bu kaygıları göz önünde bulundurarak, bilgisayarlara nazaran daha düşük veri işleme yeteneğine sahip mobil ve gömülü sistemlerde derin öğrenme uygulamaları geliştirilebilmesini hedeflemiştir.

MobileNet mimarisi görüntülerden konvolüsyonel filtrelerle özellik çıkarımı aşamasında, standart konvolüsyonel operasyonu yerine daha önce Xception (Chollet, 2017) mimarisinde de karşımıza çıkan *Derinlemesine Ayrılabilir Konvolüsyon* (*Depthwise Separable Convolutions*) tekniğini kullanmaktadır. Bu teknik sayesinde standart konvolüsyon işlemine nazaran *sekiz* veya *dokuz* kat daha az parametreyle özellik çıkarımı yapılabilmektedir.

2019 yılında ise MobileNet mimarisi geliştirilerek, daha hızlı ve daha verimli olacak şekilde güncellemeler yapılmıştır. 1×1 konvolüsyonlar kullanılarak özellik haritalarının boyutu daraltılmıştır. Ayrıca, ResNET (Szegedy et al., 2017) modellerinde de yer alan *bağlantı atlama* (*skip connection*) tekniği sayesinde daha hızlı bir hesaplama süreci sağlanmıştır. MobileNetV2 (Sandler et al., 2019) mimarisi kullanılarak ImageNet veri seti üzerinde gerçekleştirilen testlerde, kendisinden çok daha fazla parametreye sahip derin mimarilere oldukça yakın performans gösterdiği saptanmıştır (Keras, 2020).

Örneğin, yaklaşık 143,5 Milyon parametreye sahip olan VGG19 mimarisinin ulaştığı başarı oranına sadece 3,5 Milyon parametreyle ulaşabilmiştir.

4. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

Transfer öğrenme, başka bir problemde öğrenilen bilgilerin yeni bir problemde kullanılması olarak tanımlanır (Lu et al., 2015). Bu sayede yeni problemin daha hızlı ve başarılı bir şekilde çözülmesi mümkün olmaktadır. Derin öğrenme mimarilerinin ilk katmanlarının görüntünün genel özelliklerinin çıkarımını yapması, sonraki katmanların ise daha spesifik özelliklere odaklanması sayesinde, bir görevden kazanılan yeteneklerin başka görevlere transfer edilebilmesi mümkün olmaktadır (Hendrycks et al., 2019). Bu modeller kullanılarak bilgi transferi yapılacak veri seti üzerinde hangi eğitim stratejisinin kullanılacağına ise genellikle iki değişken üzerinden karar verilir: *veri seti boyutu ve benzerlik*.

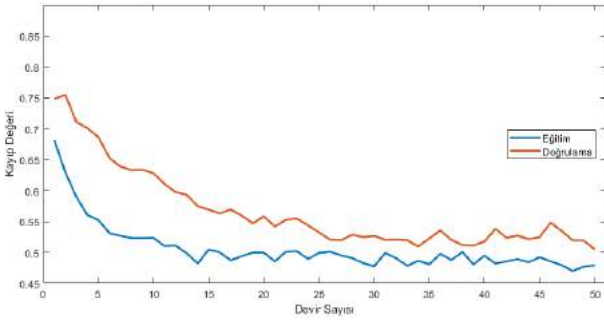
ImageNET (ImageNet, 2020) veri seti derin öğrenme modellerinin test aşamasında kullanılmak üzere geliştirilmiş oldukça popüler bir veri setidir. Bünyesinde 14 Milyondan fazla görüntü barındırmaktadır. Ayrıca, 20.000'den fazla kategoriye sahiptir. Verilerin sınıfları bitki, hayvan, doğa, insan vs. gibi geniş bir skalada yer almaktadır. Bu nedenle, bilgisayarlı görü alanında çalışan araştırmacıların inşa ettiği modellerin genelleştirme yeteneği bu veri seti kullanılarak ölçülmektedir. Dolayısıyla, ImageNET kullanılarak eğitilen modellerin kaydedilen ağırlık değerleri, yeni veri setleri için iyi bir özellik çıkarıcı olma özelliğine de sahiptir.

Bu veri seti aynı zamanda “bal arısı” görüntüleri de içermektedir. O zaman, polen taşıyan bal arılarının tespitinde kullanılacak veri setinin, MobileNetV2 modelinin ilk ağırlıklandırılmasında kullanılan ImageNET veri setine çok benzer olduğu söylenebilir. Veri setinin boyutu (600) ise derin öğrenme modelleri için yetersiz sayıdadır. Bu sebeple, model üzerinde yapılacak bir ince ayar sürecinin ezberlemeye neden olacağı, bunun yerine transfer öğrenme (*modelin özellik çıkarıcı olarak kullanılarak, sadece modelin son bölümünde yer alan sınıflandırıcı bölümünün eğitilmesi*) önerilmektedir (Karpathy, 2018). Fakat, hem veri artırımı sayesinde daha fazla örnek oluşturulduğundan, hem de MobileNetV2 mimarisinin ilk katmanlarında diğer derin öğrenme mimarilerine nazaran daha az parametre olduğundan ince ayar eğitim stratejisi de seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır (Yosinski et al., 2014). Bu sayede, modelin tamamının veya bir bölümünün eğitime dahil edilerek ve hesaplanan hatanın katmanlara yayılması sağlanarak, modelin yeni verilere adapte olması sağlanabilecektir.

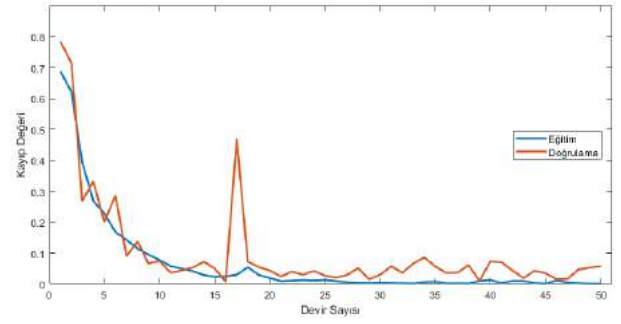
4.1. Deneysel Sonuçlar

Veri setinin eğitimi sürecinde iki yöntem de kullanılarak karşılaştırmalı bir analiz gerçekleştirilmiştir. Modeller 50 devir için eğitilmiştir. Eğitim verisi üzerinde 10-katlı çapraz doğrulama (10-fold cross-validation) tekniği kullanılarak modelin kendini en iyi şekilde geliştirebildiği ve kararlı hale getirebildiği eğitim-doğrulama verilerinin seçimi sağlanmıştır. 10 eğitim sonunda, bağımsız test verisi üzerinde en iyi performans gösteren modeller ile değerlendirme aşamasına geçilmiştir.

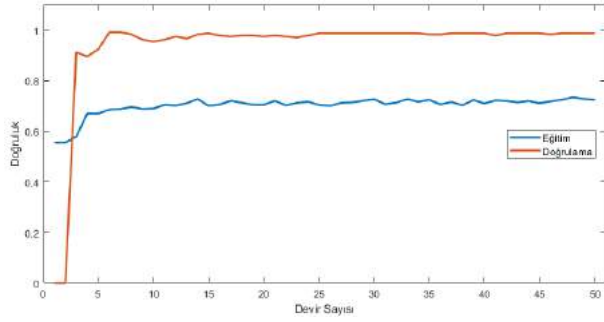
İnce ayar sürecinde MobileNetV2 modelinin sahip olduğu 154 katman da eğitime dahil edilmiştir. Son konvolüsyonel katmanı Global Ortalama Havuzlama (Global Average Pooling)



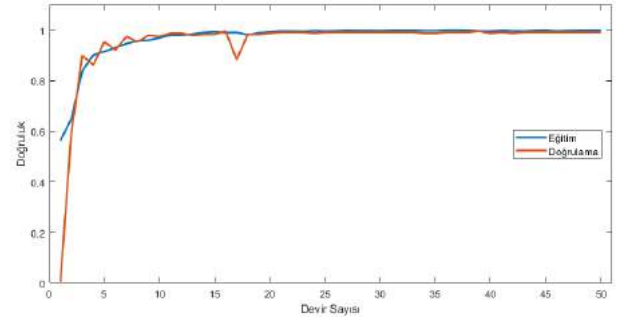
a) Transfer öğrenme kayıp değerleri



b) İnce ayar kayıp değerleri



c) Transfer öğrenme doğrulama değerleri



d) İnce ayar doğrulama değerleri

Şekil 1. Eğitim sonunda elde edilen eğitim-doğrulama eğrileri.

ile düzleştirilmiş ve sırasıyla 256 ve 64 nörona bağlanmıştır. Son katmanda ise sınıf sayısı kadar (2) çıkış nöronu yer almaktadır. Eğitim sırasında ADAM optimizasyon algoritması kullanılmıştır. Ezberlemenin önüne geçmek adına öğrenme oranı oldukça düşük tutulmuştur (1×10^{-5}). Yaklaşık 2,5 Milyon parametre ile modelin eğitilmesi sağlanmıştır.

Transfer öğrenme ile gerçekleştirilen eğitim sonunda, Şekil 1.a'da görüldüğü üzere, eğitim kayıp değerlerinin ilk devirlerden itibaren 0,47 seviyesinde kaldığı ve kendini daha fazla iyileştiremediği görülmüştür. İnce ayar sürecinde ise eğitim kayıp değerleri 0'a oldukça yaklaşmıştır (Şekil 1.b). Doğrulama değerleri incelendiğinde ise, transfer öğrenme sürecinde eğitim doğruluğunun düşük değerlerde kalırken, ilginç bir şekilde doğrulama verisi üzerinde modelin oldukça yüksek doğruluk değerlerine ulaştığı görülmüştür (Şekil 1.c).

İnce ayar sürecinde ise model kararlı davranmış ve hem eğitim verisi üzerinde hem de doğrulama verisi üzerinde yüksek başarılar elde etmiştir (Şekil 1.d). Özetle, transfer öğrenme sürecinin net bir şekilde öğrenememe (underfitting) probleminden muzdarip olduğu görülmüştür. Sonraki aşamada eğitilen iki model ile test verisi üzerinde tahmin gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 2'de görülebilir.

Beklendiği üzere transfer öğrenmeyle eğitilen model, Rodriguez vd. (Ivan F. Rodriguez et al., 2018)'nin çalışmalarındaki sonuçlara benzer bir şekilde, oldukça düşük başarı oranları üretmiştir. İnce ayar ile eğitilen MobileNetV2 modeli ise sınıflar arasında ayırım sağlayan özellikleri (polen topları) net bir şekilde tespit edebilmiş ve %99 gibi oldukça yüksek bir doğruluk değerine ulaşmıştır.

Gerçek Sınıf	Tahmin Edilen Sınıf		
	Polenli	Polensiz	Toplam
Polenli	52 52.00%	2 2.00%	54 98.00%
Polensiz	35 35.00%	11 11.00%	46 100%
Toplam	87 98.00%	13 15.38%	100 63.00%

a) Transfer öğrenme

Gerçek Sınıf	Tahmin Edilen Sınıf		
	Polenli	Polensiz	Toplam
Polenli	53 53.00%	1 1.00%	54 98.15%
Polensiz	0	46 46.00%	46 100%
Toplam	53 100%	47 97.87%	100 99.00%

b) İnce ayar

Şekil 2. Hesaplanan karmaşıklık matrisleri.

4.1. Tartışma

Grad-CAM yöntemi konvolüsyonel mimarilerinin tahmin gerçekleştirirken görüntünün hangi bölümüyle ilgilendiğini incelemek amacıyla kullanılmaktadır. Bu yöntemde, son konvolüsyonel katmanının sahip olduğu değerler Global Ortalama ile düzleştirilerek tahmin gerçekleştirilir. Son katmandaki özellik haritalarının türevlenebilir olması sayesinde bir ısı haritası oluşturularak, modelin yoğunlaştığı bölgeler incelenebilmektedir.

Çalışmanın bu aşamasında, transfer öğrenme yönteminin “polen taşıyan bal arıları” veri seti üzerinde neden başarısız olduğunu daha net tartışmak adına Grad-CAM (Gradient-weighted Class Activation Mapping) (Selvaraju et al., 2017) yöntemi kullanılarak MobileNetV2 mimarisinin veri setinde yer alan örneklerin hangi özelliklerine odaklandığı incelenmiştir (Şekil 3).

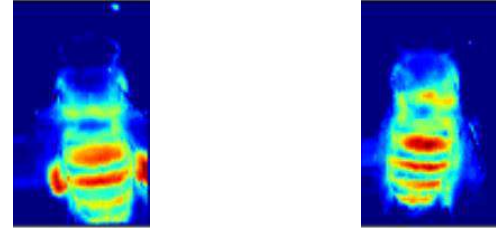


a) Polen taşıyan

b) Polen taşımayan

Şekil 3. Polen taşıyan ve taşımayan arıların Grad-CAM analizi (kırmızı bölümlerin aktivasyon değerleri daha yüksektir).

ImageNET veri seti ile ağırlıklandırılmış MobileNetV2 modeli iki görüntüyü de “arı” olarak tahmin etmiştir. Isı haritasına bakıldığında ise, modelin arıların orta bölümüne odaklandığı net olarak görülmektedir. Dolayısıyla, model özellik çıkarıcı kullanıldığında, çıkarılan özellikler arıların temel özelliklerini içerdiğinden sınıflandırıcı model tam bir öğrenme sağlayamamıştır. İnce ayar ile eğitilen modelin ise arıların arka bacaklarında yer alan polen toplarına yöneldiği, bu sayede yüksek performans sağladığı anlaşılmaktadır (Şekil 4).



a) Polen taşıyan

b) Polen taşımayan

Şekil 4. İnce ayar ile eğitilen modelin ürettiği aktivasyon haritaları (kırmızı bölümlerin aktivasyon değerleri daha yüksektir).

İnce ayar ile eğitilen model yalnızca bir örnek üzerinde başarısız olmuştur. İlgili örnek ve aktivasyon haritası Şekil 5’deki gibidir. Şekilde de net bir şekilde görüldüğü gibi, bu örnekte yer alan polen taşıyan bal arısının sahip olduğu polen topları, diğer örneklerdekine nazaran hem boyut olarak daha küçüktür hem de renk bakımından arının gövdesiyle uyumludur. Bu nedenle sınıflandırıcı modelin polen toplarını tam olarak ayırtamadığı tahmin edilmektedir.



Şekil 5. İnce ayar ile eğitilen model tarafından yanlış sınıflandırılan örnek ve örneğe ait aktivasyon haritası (kırmızı bölümlerin aktivasyon değerleri daha yüksektir).

Son olarak, çalışmamızdan elde edilen sonuçlar literatürde yer alan ve aynı veri setini kullanan çalışma ile karşılaştırılmıştır (Tablo 2).

Tablo 2. Sonuçların literatürle kıyaslanması.

Çalışma	Yöntem	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)	Doğruluk (%)
Rodriguez vd. (Ivan F. Rodriguez et al., 2018)	PCA + SVM	-	-	91,16
	CNN	-	-	96,40
	VGG16	-	-	87,20
	VGG19	-	-	90,20
	ResNET50	-	-	61,70
Bu çalışma	MobileNetV2 (TÖ)	59,77	84,62	63,00
	MobileNetV2 (İA) (orijinal veri seti)	95,92	86,27	91,00
	MobileNetV2 (İA) (veri arttırımı)	100	97,87	99,00

Rodriguez vd. (Ivan F. Rodriguez et al., 2018) gerçekleştirdikleri çalışmada, oluşturdukları veri setini hem klasik makine öğrenme süreciyle hem de derin öğrenme süreciyle

eğitmişlerdir. Klasik süreçte görüntülere Gauss filtreler uygulayarak özellik çıkarımı yapmışlar, daha sonra Temel Bileşenler Analizi (PCA) yöntemiyle boyut azaltma

gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen özellik vektörleriyle Destek Vektör Makinesi (SVM) eğitilmiştir. Derin öğrenme sürecinde ise, iki katmanlı bir CNN eğiten araştırmacılar ise %96,40 başarı oranına ulaşmışlardır. VGG16, VGG19 ve ResNET50 mimarilerini transfer öğrenme yöntemiyle eğiten yazarlar istenilen başarı oranlarına ulaşamadığını belirtmişlerdir.

Bu çalışmada ise, mevcut veri setinin ImageNET veri setine oldukça yakın olmasından ortaya çıkan olumsuzluk ince ayar eğitim süreci ile aşılmıştır. Sınıflandırma aşamasında ise MobileNetV2 modeli tercih edilmiştir. Bu mimari derin öğrenme teknolojisine sahip olduğundan ön-işleme (özellik çıkarımı, boyut azaltma vs.) sürecine ihtiyaç duymadan, mobil ve gömülü sistemlerde verimli bir şekilde çalışması için tasarlandığından ise hızlı ve başarılı bir şekilde sonuca ulaşılabilmiştir. Veri arttırımı uygulamadan orijinal veri seti üzerinde yapılan eğitim sonrasında modelin test verisi üzerinde ulaştığı doğruluk değeri %91,00 olarak ölçülmüştür. Veri arttırımının ise sınıflandırmaya %9 oranında katkı sunduğu görülmüştür. Veri arttırımı ile genişletilen veri seti ile eğitilen model %99,00 başarıya ulaşmıştır.

5. Sonuç

Bal arıları, bal üretimi için ihtiyaç duyduğu nektarı çiçeklerden toplarken üzerlerinde biriken polenlerin bir kısmını kovanlarına taşırlar. Çünkü polenler, sadece bitkilerin değil, bal arılarının da devamlılığını korumalarında önemli bir role sahiptir. Aynı zamanda insanoglu için sağlıklı bir gıda takviyesidir. Bu nedenlerden dolayı, kovanlardaki polen seviyesi hem kovanların genel sağlık durumunu açısından hem de elde edilecek ürün miktarı açısından arı çiftçilerine önemli ipuçları sağlamaktadır.

Bu çalışmada, polen taşıyan bal arılarının yüksek başarı ile tespit edilmesine yönelik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Arı çiftçilerinin maliyetli bir sistem yerine mobil sistemler ile sonuca ulaşabilmesi adına MobileNetV2 modeli tercih edilmiştir. Çalışma sırasında farklı eğitim stratejileri analiz edilmiş ve mevcut veri seti üzerinde oluşan dramatik farklılıkların sebepleri tartışılmıştır. Sonuç olarak, ince ayar ile eğitilen modelin transfer öğrenmeye göre daha başarılı sonuçlar ürettiği görülmüştür (%99,00). Gelecek çalışmalarda, bütün bir görüntüden polen taşıyan bal arılarının tespit edilmesi sayesinde sayı ve yoğunluk gibi bilgilere ulaşmak, diğer yandan, polen toplarının segmentasyonu ile daha geniş bir spektrumda “polen analizi” gerçekleştirmek mümkün olacaktır.

Kaynakça

Ankara Valiliği Gıda Tarım ve Hayvancılık İl Müdürlüğü. (2015). *Polen*. Ankara Valiliği Gıda Tarım ve Hayvancılık İl Müdürlüğü. <https://ankara.tarimorman.gov.tr/Belgeler/liftet/polen.pdf>

Babic, Z., Pilipovic, R., Risojevic, V., & Mirjanic, G. (2016). Pollen bearing honey bee detection in hive entrance video recorded by remote embedded system for pollination monitoring. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, III-7*, 51–57.

Bağrıaçık, N. (2017). Polinatör böcekler ve küresel tozlaşma krizi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(4), 37–41.

Başdoğan, G., Sağdıç, O., Daştan, T., Acar, S., & Düz, G. (2019). Farklı bölgelerden toplanan arı polenlerinin fizikokimyasal

özellikleri ve şeker profillerinin belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 15, 627–631.

Bozkurt, Z. (2020). Bal arılarında refah. *Bahri Dağdaş Hayvancılık Araştırma Dergisi*, 8(2), 96–108.

Chen, C., Yang, E.-C., Jiang, J.-A., & Lin, T.-T. (2012). An imaging system for monitoring the in-and-out activity of honey bees. *Computers and Electronics in Agriculture*, 89, 100–109.

Chollet, F. (2017). Xception: Deep learning with depthwise separable convolutions. *ArXiv:1610.02357 [Cs]*. <http://arxiv.org/abs/1610.02357>

Cubuk, E. D., Zoph, B., Mane, D., Vasudevan, V., & Le, Q. V. (2018). AutoAugment: Learning augmentation policies from data. *ArXiv:1805.09501 [Cs, Stat]*. <http://arxiv.org/abs/1805.09501>

Feurer, M., & Hutter, F. (2019). Hyperparameter optimization. In F. Hutter, L. Kotthoff, & J. Vanschoren (Eds.), *Automated Machine Learning: Methods, Systems, Challenges* (pp. 3–33). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-05318-5_1

Hendrycks, D., Lee, K., & Mazeika, M. (2019). Using pre-training can improve model robustness and uncertainty. *ArXiv:1901.09960 [Cs, Stat]*. <http://arxiv.org/abs/1901.09960>

Howard, A. G., Zhu, M., Chen, B., Kalenichenko, D., Wang, W., Weyand, T., Andreetto, M., & Adam, H. (2017). MobileNets: Efficient convolutional neural networks for mobile vision applications. *ArXiv:1704.04861 [Cs]*. <http://arxiv.org/abs/1704.04861>

ImageNet. (2020). *ImageNet*. <http://image-net.org/about-overview>

Karaboga, D., & Basturk, B. (2007). A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: Artificial bee colony (ABC) algorithm. *Journal of Global Optimization*, 39(3), 459–471.

Karpathy, A. (2018). *Transfer Learning*. <http://cs231n.github.io/transfer-learning/>

Keras. (2020). *Keras documentation: Keras Applications*. <https://keras.io/api/applications/>

Lu, J., Behbood, V., Hao, P., Zuo, H., Xue, S., & Zhang, G. (2015). Transfer learning using computational intelligence: A survey. *Knowledge-Based Systems*, 80, 14–23. <https://doi.org/10.1016/j.knsys.2015.01.010>

Perez, L., & Wang, J. (2017). The effectiveness of data augmentation in image classification using deep learning. *ArXiv:1712.04621 [Cs]*. <http://arxiv.org/abs/1712.04621>

Rodriguez, Ivan F., Megret, R., Acuna, E., Agosto-Rivera, J. L., & Giray, T. (2018). Recognition of pollen-bearing bees from video using convolutional neural network. *2018 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV)*, 314–322.

Rodriguez, Ivan Felipe. (2018). *Pollen dataset*. GitHub. <https://github.com/piperod/PollenDataset>

Sandler, M., Howard, A., Zhu, M., Zhmoginov, A., & Chen, L.-C. (2019). MobileNetV2: Inverted residuals and linear bottlenecks. *ArXiv:1801.04381 [Cs]*. <http://arxiv.org/abs/1801.04381>

Sarıgül, T. (2018). *Arılar nasıl bal yapar? Balın yapısında hangi maddeler var? TÜBİTAK Bilim Genç*. <https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/arilar-nasil-bal-yapar-balin-yapisinda-hangi-maddeler-var>

- Schönfelder, M. L., & Bogner, F. X. (2017). Individual perception of bees: Between perceived danger and willingness to protect. *PLOS ONE*, 12(6), e0180168.
- Selvaraju, R. R., Cogswell, M., Das, A., Vedantam, R., Parikh, D., & Batra, D. (2017). Grad-CAM: Visual explanations from deep networks via gradient-based localization. *2017 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*, 618–626. <https://doi.org/10.1109/ICCV.2017.74>
- Shen, D., Wu, G., & Suk, H.-I. (2017). Deep learning in medical image analysis. *Annual Review of Biomedical Engineering*, 19(1), 221–248. <https://doi.org/10.1146/annurev-bioeng-071516-044442>
- Silici, S. (2014). Arı poleni ve arı ekmeği. *Uludağ Arıcılık Dergisi*, 14(2), 99–105.
- Silici, S. (2020). *Ekolojik dengenin odağındaki hayvan: Bal arısı*. Anadolu Ajansı. <https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/ekolojik-dengenin-odagindaki-hayvan-bal-arisi/1847545>
- Sıralı, R., Uğur, A., & Türkmen, M. (2011). Bal arılarının sebze üretimindeki rolü. *Arıcılık Araştırma Dergisi*, 6, 3–6.
- Szegedy, C., Ioffe, S., Vanhoucke, V., & Alemi, A. A. (2017). Inception-v4, Inception-ResNet and the impact of residual connections on learning. *Thirty-First AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI-17)*, 4278–4284.
- Tu, G. J., Hansen, M. K., Kryger, P., & Ahrendt, P. (2016). Automatic behaviour analysis system for honeybees using computer vision. *Computers and Electronics in Agriculture*, 122, 10–18.
- Türkiye Arı Yetiştiricileri Merkez Birliği. (2016a). *Polen*. Türkiye Arı Yetiştiricileri Merkez Birliği. <http://www.tab.org.tr/polen>
- Türkiye Arı Yetiştiricileri Merkez Birliği. (2016b). *Polinasyon*. Türkiye Arı Yetiştiricileri Merkez Birliği. <http://www.tab.org.tr/polinasyon>
- Tüzün, A., & Bilgili, G. (2013). Tarımsal ekosistemde arıların önemi. *Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi*, 6(2), 91–95.
- Yosinski, J., Clune, J., Bengio, Y., & Lipson, H. (2014). How transferable are features in deep neural networks? *Advances in Neural Information Processing Systems 27*. Advances in Neural Information Processing Systems 27, Montreal, QC, Canada. <http://papers.nips.cc/paper/5347-how-transferable-are-features-in-deep-neural-networks.pdf>



Etlerde Ozmotik Dehidrasyon Uygulamaları

Aybike Kamiloğlu^{1*}, Naciye Kutlu Kantar², Tuğba Elbir³

^{1*} Bayburt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bayburt, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6756-0331), abereketoglu@bayburt.edu.tr

² Bayburt Üniversitesi, Aydıntepe Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Bayburt, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4075-8823), naciyekutlu@bayburt.edu.tr

³ Bayburt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bayburt, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8836-8808), telbir@bayburt.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 30 Ekim 2020 ve Kabul Tarihi 29 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.818194)

ATIF/REFERENCE: Kamiloğlu, A., Kutlu Kantar, N. & Elbir, T. (2021). Etlerde Ozmotik Dehidrasyon Uygulamaları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 534-542.

Öz

Ozmotik dehidrasyon, gıda ürünlerinde suyun uzaklaştırılması, aynı zamanda çeşitli çözünen maddelerin (tuz, şeker vb.) emilimi için uygulanan ve termal olmayan, kısmi kurutma işlemidir. Ozmotik dehidrasyon işleminde, daha düşük su aktivitesine sahip bir son ürün elde etmek için, gıda materyali yüksek konsantrasyonda bir çözeltiye daldırılmaktadır. Fakat bu yöntem ile çok düşük su aktivitesine sahip son ürünler elde edilemediğinden, ön işlem olarak uygulanmaktadır. Kurutma öncesi uygulanan ozmotik dehidrasyon işlemi ile ürünlerdeki su kaybı daha kısa sürede gerçekleşmektedir. Ozmotik dehidrasyonda gerçekleşen kütle transferi mekanizması ve son ürünün kalitesi üzerinde en etkili faktörlere, ozmotik ajan çeşidi, konsantrasyonu, işlem sıcaklığı, süresi ve örnek/çözelti oranı örnek verilebilmektedir. Ozmotik dehidrasyonda kullanılan düşük işlem sıcaklığı, gıda ürünlerindeki renk-aroma kaybı ve oluşabilecek enzimatik reaksiyonları engellemekte; ürünlerin fonksiyonel, besinsel ve duyuşal özelliklerine katkıda bulunmaktadır. Ayrıca oldukça ekonomik bir işlem olması ve insan sağlığı açısından herhangi bir olumsuzluk teşkil etmemesi de yöntemi avantajlı hale getirmektedir. Bu derlemede, ozmotik dehidrasyon prosesinin, etlerin işlenmesinde bir ön işlem olarak kullanımının, ürünün kalite karakteristikleri üzerine etkilerine yer verilmiştir. Çeşitli etlerde (tavuk, domuz, sığır, kuzu, deve kuşu eti ve çok çeşitli su ürünleri) kullanılan ozmotik dehidrasyonun, ürünlerin renk ve duyuşal özellikleri ile raf ömrü gibi birçok kalite parametresini geliştirdiği belirlenmiştir. Belirli ozmotik ajanlar kullanımı ile daha iyi taktürel özelliklere sahip kurutulmuş etler elde edilmiştir. Etlerin etkin kurutulmasında, ozmotik dehidrasyon işleminin ultrases veya yüksek basınç gibi uygulamalarla birlikte kullanımı da önerilmektedir. Ayrıca konvektif kurutma öncesinde kullanılan ozmotik dehidrasyon işleminin, etin kuruma süresini önemli derecede azalttığı da belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Et, Ozmotik Dehidrasyon, Ozmotik Ajan, Kurutma.

Osmotic Dehydration Applications in Meat

Abstract

Osmotic dehydration is a non-thermal, partial drying process applied for the removal of water in food products, as well as for the absorption of various solutes (salt, sugar, etc.). In the osmotic dehydration process, the food material is immersed in a high concentration solution to obtain a final product with lower water activity. However, since the final products with very low water activity cannot be obtained with osmotic dehydration, this method is applied as a pretreatment. The water loss in the product takes place in a shorter time with the osmotic dehydration process applied before drying. The most effective factors on osmotic dehydration are the type of osmotic agent, concentration, process temperature, process time and sample/solution ratio. The low process temperature in osmotic dehydration prevents the loss of color and aroma in food products and contributes the functional, nutritional and sensory properties of products. In addition, the fact that it is a very economical process and does not pose any negative effects in terms of human health makes the method advantageous. In this review, when the osmotic dehydration process is used as a pretreatment in meat processing, the effects on the quality characteristics of the product were mentioned. It has been determined that osmotic dehydration used in various meats (chicken, pork, beef, lamb, ostrich meat and a wide variety of seafood) improves many quality parameters such as color and sensory properties and shelf life of the products. Dried meat with better texture were obtained with the use of specific osmotic agents. It is also recommended to use osmotic dehydration in combination with some applications such as ultrasound or high pressure for effective drying of meat. It was determined that osmotic dehydration process used before convective drying significantly reduced the drying time of meat.

Keywords: Meat, Osmotic Dehydration, Osmotic Agent, Drying.

* Sorumlu Yazar: abereketoglu@bayburt.edu.tr

1. Giriş

Canlılar için hayati önem taşıyan su, et bileşiminin de önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Su içeriği canlı hayvanda, yağsız kas dokuda %75 civarındadır. Kalan kısmı ise protein (~20), lipit (~5), karbonhidrat (~1), vitamin ve mineraller (~1) oluşturmaktadır. Suyun önemli bir kısmı (~%85) miyofibriller proteinlere bağlı olarak bulunurken, yaklaşık %15'lik kısmı ise miyofibriller yapının dışında yer almaktadır. Etten suyun uzaklaşması, miyofibriller boşluklardan, yapının dışına doğru gerçekleşen bir hareket ile sağlanmaktadır (Offer, 1988; Pearce ve ark., 2011). Et ve et ürünleri, kesim ve işleme koşulları ile kontaminasyona açık gıdalar olup (Doğu & Sarıçoban, 2014), yüksek su içeriği nedeniyle, birçok mikroorganizma (bakteri, maya, küf) için uygun bir gelişme ortamı sağlamaktadır. Bu nedenle et muhafazasında, öncelikli olarak mikrobiyal gelişimin engellenmesi, bununla birlikte lipit oksidasyonu ve enzimatik reaksiyonların sınırlandırılması ile renk, koku, tekstür gibi özelliklerin korunması amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, fermantasyon, dumanlama, dondurma, soğutma, yüksek sıcaklık uygulamaları, kurutma gibi birçok teknik kullanılmaktadır (Dave & Ghaly, 2011).

Kurutma, gıdaların muhafazasında bilinen en eski ve yaygın yöntemlerden biridir. Gıda endüstrisinde akışkan yatak, kızıl ötesi, güneş enerjili (solar), konvektif ve desikant kurutma sıklıkla kullanılan ekonomik yöntemlerdendir (Chua & Chou, 2003). Bu yöntemlerin yanı sıra, yeni teknolojileri içeren mikrodalga destekli, radyo frekans destekli, vakum destekli, ultrases destekli ya da dondurarak kurutma gibi yöntemler de son dönemlerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Ibarz & Barbosa-Canovas, 2014).

Bu yaygın kurutma yöntemlerinin dışında, üründen suyun uzaklaştırılması için tercih edilen diğer bir yöntem de, ozmotik dehidrasyondur. Ozmotik dehidrasyon, hipertonic bir çözelti yardımı ile gıdadaki suyun uzaklaştırılması prensibine dayanmaktadır. Daldırılan çözelti ile gıda arasındaki ozmotik basınç farkı, işlemin etkililiğini sağlamaktadır. Ozmotik dehidrasyon ile çok düşük su aktivite (a_w) değerlerine erişilemediği için, bu yöntem genellikle yardımcı bir işlem olarak kullanılmaktadır (Miano ve ark., 2017). Ozmotik dehidrasyon, düşük işlem sıcaklığı, yapıdan suyun sıvı formda uzaklaşması, ürünün başlangıç renk ve aroma özelliklerinin korunması gibi bir çok avantaj sağlamaktadır. Ayrıca ürünün fonksiyonel, duyuşsal ve besleyici özelliklerine de katkı sağlayabilmektedir (Pezo ve ark., 2013). Bununla birlikte, ozmotik dehidrasyon sırasında gerçekleşen kütle transferi, etin yapısı ile de oldukça ilişkilidir. Protein yapısının ozmotik dehidrasyonu etkilemediği (Muguruma ve ark., 1987), fakat yağ içeriğinin kütle transferi üzerine etkili bir bileşen olduğu belirtilmiştir (Collignan ve ark., 2001). Bu derlemede, etlerin, su içeriğinin azaltılması amacıyla uygulanan mevcut ozmotik dehidrasyon çalışmalarına, bu işlemin etlerin kalite özellikleri üzerine etkilerine ve işlem parametrelerine yer verilmiştir.

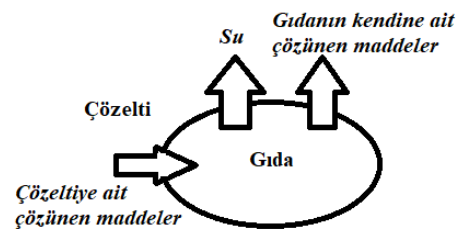
2. Ozmotik Dehidrasyon Mekanizması

Kütle transferi, kimyasal dengeye ulaşmak amacıyla, konsantrasyon değişiminin etkisi yardımıyla bir maddenin ortamdan göçü olarak tanımlanabilir. Gıda işlemede, dondurarak kurutma, ozmotik dehidrasyon, tuzlama, kütleme, ekstraksiyon, dumanlama, pişirme, kızartma, kurutma, membran ayırma gibi işlemlerin temeli kütle transferine dayanmaktadır (Walti-Chanes ve ark., 2005). Ozmotik dehidrasyon işlemi ile, yüksek ısıyla

oluşabilecek renk ve aroma kayıplarının önüne geçilebilmekte, enzimatik değişimler önlenilmekte ve enerji maliyeti azaltılabilmektedir (Khan, 2012). Fakat bu yöntem tek başına, gıdanın su aktivitesini rafta kararlı bir ürün olarak kabul edilecek kadar düşürmek için yeterli değildir. Bu nedenle, çoğunlukla ön işlem olarak kullanılmaktadır (Azuara ve ark., 1996). Diğer bir deyişle, ozmotik dehidrasyon, son yıllarda, kurutma proseslerinde tamamlayıcı bir işlem olarak sıklıkla kullanılan, gıda muhafaza yöntemlerinden birisidir.

Ozmotik dehidrasyon, gıda ürünlerinde suyun uzaklaştırılması, aynı zamanda çeşitli çözünen maddelerin (tuz, şeker vb.) emilimi için uygulanan ve termal olmayan, kısmi kurutma işlemidir. Ozmotik dehidrasyon sırasında, gıda, konsantre hipertonic çözeltilere daldırılmakta ve gıda ile çözelti arasındaki ozmotik basınç farkından dolayı, su gıdadan dışarıya çıkmaktadır (Cath ve ark., 2006; Dimakopoulou-Papazoglou & Katsanidis, 2017). İşlem görecekle gıda materyali, hipertonic ozmotik çözeltiye daldırıldığında, üst tabakadaki hücreler ile hipertonic çözeltinin birbiriyle temas etmesiyle aralarındaki konsantrasyon farkı nedeniyle, hücre su kaybetmeye ve küçülmeye başlamaktadır. Sonrasında bir alt tabakadaki hücrelerden, üst tabakaya nem transferi olmaktadır. Dolayısı ile bir süre sonra bu hücreler de su kaybettiğinden küçülme görülmektedir. Bu küçülme, gıdanın yüzeyindeki hücrelerden başlayarak, merkeze doğru yayılmaktadır (Phisut, 2012; Shi & Xue, 2009). Kısacası, ozmotik dehidrasyon işlemiyle, gıdanın çözünür katı miktarı artarken su içeriği azalmaktadır (Ramya & Jain, 2017).

Ozmotik dehidrasyon sırasında gerçekleşen katı madde transferi oldukça karmaşık bir taşınım olayıdır. Bu işlemde, üç tip kütle transferi mekanizması görülmektedir (Şekil 1). Birinci durumda, su başlangıçta hızlı, ilerleyen aşamalarda daha yavaş olmak üzere, gıdanın içerisinden çözeltiye difüze olmaktadır. İkinci durumda, ozmotik çözeltiden gıda içerisine çözünen transferi gerçekleşmektedir. Son durumda ise, gıdanın içerisinde bulunan kendi çözünenler (şeker, organik asitler, mineraller, vitaminler vb.) çözeltiye sızmaktadır. Fakat diğer iki duruma göre çok daha az miktarlarda gerçekleştiği için, bu tip transfer gerekli hesaplamalarda ihmal edilebilmektedir (Akbarian ve ark., 2014). Bu bağlamda, ozmotik dehidrasyon işlemi boyunca, su kaybı (SK, kg/kg taze ürün) ve çözünen (katı) kazanımı (ÇK, kg/kg taze ürün), birbirinden bağımsız olarak, eşitlik 1 ve 2 ile hesaplanabilmektedir (Pan ve ark., 2003).



Şekil 1. Ozmotik dehidrasyon işleminde görülen kütle transferleri (Ramya & Jain, 2017).

$$SK = [(M_0 + M_d) - (M_t + M_{td})] / M_0 \quad (1)$$

$$ÇK = (M_{td} - M_d) / M_0 \quad (2)$$

Eşitliklerde, M_0 başlangıç ürünün kütlesi (kg), M_d başlangıçtaki kuru madde kütlesi (kg), M_t ürünün belirli bir t zamanındaki kütlesi (kg), M_{td} ürünün belirli bir t zamanındaki

kuru madde kütlesidir (kg). Kütle transferi ile ilgili yapılan çalışmalarda bulunan matematiksel modeller ve eşitlikler, ozmotik çözeltiden hücre içine katı madde difüzyonuna odaklanmaktadır. Fick yasasının çözümü ile efektif difüzyon katsayısı (D_e) kolaylıkla bulunabilmektedir. Efektif difüzyon katsayısı, konsantrasyon farkı olan iki ortam arasında, maddelerin yayınımlarının ölçüsünü açıklamada kullanılmaktadır.

Ozmotik dehidrasyon sırasında bu değer, gıdanın yüzeyinde daha yüksek iken, gıdanın merkezine doğru gidildikçe, çözelti teması az olduğu için düşmektedir (Rastogi ve ark., 2000). Deneysel literatür verilerine bakıldığında, ozmotik dehidrasyon sırasındaki kütle transferinde, moleküler difüzyon haricinde farklı olaylar da görülmüştür. Örneğin, şeker gibi bazı çözünenler, hücre içine difüze olmadan dış yüzeyde bir tabaka oluşturabilmektedir. Bu durumda, gıdanın dış yüzeyinde bir katman oluştuğu için, kütle transferi yavaşlamaktadır (Muñiz-Becerá ve ark., 2017; Najafi ve ark., 2014). Gıda ile çözelti arasındaki kütle transferi hızı ve ürünün kalitesini etkileyen parametreler (antioksidan

kapasitesi, renk, tekstür vb.), çözünen madde tipine, konsantrasyonuna, ozmotik çözeltinin sıcaklığına ve gıdanın şekline bağlı olarak değişmektedir (Almeida ve ark., 2015; Landim ve ark., 2016).

3. Etilerde Ozmotik Dehidrasyon Üzerine Etkili Faktörler

Son yıllarda etlerde yapılmış olan bazı ozmotik dehidrasyon çalışmalarına Tablo 1’de yer verilmiştir. Bu çalışmalarda farklı hammaddeler üzerinde değişen ozmotik dehidrasyon parametrelerinin kurutma ya da kalite karakteristikleri üzerine etkisinin incelendiği görülmektedir.

Tablo 1. Etilerde ozmotik dehidrasyon ile ilgili yapılan çalışmalar

Materyal	Kullanılan Ozmotik Ajan	Ozmotik Dehidrasyon Koşulları	Kaynak
Domuz eti	Seker pancarı melası (%80 sulu çözelti)	23 °C – 5 h	(Şuput ve ark., 2015)
Kuzu eti	NaCl (%15 sulu çözelti)	Oda sıcaklığı - 0, 1.5, 3, 4.5 ve 6 h	(Wang ve ark., 2016)
Yayın balığı	NaCl (0,14-0,22 g/g sulu çözelti)	Oda sıcaklığı – 90, 150 ve 210 dk	(Corzo ve ark., 2016)
Sığır eti	Maltodekstrin (%40, %50 ve %60) + NaCl (%5 sulu çözelti)	5, 15 ve 25 °C - 0, 20, 40, 60, 90, 120, 150 ve 180 dk	(Dimakopoulou-Papazoglou & Katsanidis, 2016)
Sığır eti	NaCl (6 mol/L sulu çözelti)	10 °C – 6 h	(Bampi ve ark., 2016)
Tavuk eti	Sukroz+NaCl (1200 ve 350 g/kg sulu çözelti)	20, 32 ve 44 °C – 1, 3, 5 h	(Filipović ve ark., 2017)
Sığır eti	Maltodekstrin (%40 ve %60) + NaCl (%5 sulu çözelti)	15 °C – 3h	(Dimakopoulou-Papazoglou & Katsanidis, 2017)
Tavuk eti	Maltodekstrin (40, 50 ve %60) + NaCl (%5 sulu çözelti)	15, 25 ve 35 °C – 20-240 dk	(Andreou ve ark., 2018)
Jumbo kalamar	NaCl (%15 sulu çözelti)	15 °C – 300 s (yüksek basınç altında)	(Lemus-Mondaca ve ark., 2018)
Domuz eti	Seker pancarı melası (%80 sulu çözelti)	22 °C – 5 h	(Şuput ve ark., 2019)
Arapayma balığı	NaCl (%30 sulu çözelti)	10, 20, 30 ve 40 °C - 30, 60, 90, 120 ve 180 dk	(Martins ve ark., 2019)
Sığır eti	Maltodekstrin (%40, %50 ve %60) + NaCl (%5 sulu çözelti)	5, 15 ve 25 °C - 0, 20, 40, 60, 90, 120, 150 ve 180 dk	(Dimakopoulou-Papazoglou & Katsanidis, 2019)
Deve kuşu eti	NaCl (%5, %15 ve %27 sulu çözelti)	15 °C - 24 h	(Alamatian ve ark., 2019)
Tavuk eti	Sukroz+NaCl (1200 ve 350 g/kg sulu çözelti)	32 °C - 0.5, 1, 2, 3 ve 5 h	(Filipović ve ark., 2019)
Yenilebilir deniz salyangozu	NaCl (%1 sulu çözelti)	4 °C - 12 h	(Pizarro-Oteiza ve ark., 2020)
Ot sazanı	NaCl (%8 sulu çözelti)	4 °C - 3 h	(Qin ve ark., 2020)
Karides	NaCl (%6 sulu çözelti)	100 °C - 1 dk	(Ling ve ark., 2020)

Ozmotik dehidrasyon sırasında, su içeriğinin bitki veya hayvan dokusundan çıkarılması, ürün ile ürüne doğrudan temas

halinde olan hipertonic çözelti arasındaki ozmotik basınç farkı ile elde edilmektedir (Koprivica ve ark., 2010). Dimakopoulou-Papazoglou & Katsanidis (2017) yaptıkları çalışmada sığır etini,

15 °C sıcaklıkta 3 saat boyunca, %60 Maltodekstrin+%5 NaCl çözeltisi içinde bekletmişler ve gerçekleşen ozmotik dehidrasyon sonucu su aktivite değerini 0.976, aynı koşullarda %20 NaCl çözeltisinde beklettiklerinde ise ozmotik dehidrasyon sonucu su aktivite değerini 0.948 bulmuşlardır. Bu bulgu ile ozmotik çözelti olarak yüksek konsantrasyonlarda NaCl kullanılması durumunda, sığır eti örneklerinin su aktivite değerinin daha düşük olduğunu vurgulamışlardır. Filipović ve ark. (2017) tavuk eti kullanarak yaptıkları bir çalışmada, kütle kaybının en yüksek (0.4791 $\frac{g_{final}}{g_{başlangıç}}$) olduğu ozmotik dehidrasyon koşullarının %60 NaCl+sukroz konsantrasyon, 44 °C sıcaklık ve 5 saatlik işlem süresi ile elde edildiğini bildirmişlerdir. Şuput ve ark. (2019) tarafından yapılan bir çalışmada, domuz etinden elde ettikleri küp şeklindeki örnekleri, farklı daldırma süreleri (15-60 dakika) ve sıcaklıklarda (20-40 °C), şeker pancarı melası (%80 sulu çözelti) içinde bekleterek nem değişimlerini incelemişler ve modellemişlerdir. Sonuç olarak, deneysel nem verilerinin, ikinci dereceden polinom modelle iyi uyum sağladığını rapor etmişlerdir. Geliştirilen modele göre, daha yüksek sıcaklıklarda su içeriği kazanım oranının arttığı belirtilmiştir.

Kütle transferi mekanizması ve son ürünün kalitesi; ozmotik ajanların bileşim ve konsantrasyonu, ürünün çözeltiye daldırılma süresi, işlem sıcaklığı, ozmotik çözeltinin karıştırılması, gıdanın çeşidi ve kalınlığı, gıda maddesine öncesinde uygulanan işlemler, ürünün boyutları ve şekli, ozmotik çözelti ile ürünün oranı, karıştırma seviyesi, ozmotik ajanın türü ve işlem basıncı gibi faktörlerden etkilenmektedir (Jain ve ark., 2011; Lerici ve ark., 1985; Rastogi ve ark., 2002). Bu faktörler aşağıdaki bölümlerde daha detaylı olarak açıklanmıştır.

3.1. Ozmotik Ajan Çeşidi ve Konsantrasyonu

Gıdaların ozmotik dehidrasyon için çözelti seçimi oldukça önemlidir. Kullanılan ozmotik çözelti, son ürünün kalitesini ve fiziksel özelliklerini büyük ölçüde etkilemektedir (Pan ve ark., 2003). Suda çözünebilen herhangi bir çözünen kullanılabilmesine rağmen, şeker (dekstroz, sukroz, esmer şeker, mısır şurubu, laktoz, bal, melas ve maltodekstrin) ve tuz (sodyum klorür - NaCl) çoğunlukla ozmotik ajan olarak tercih edilen maddelerdendir (Raoult-Wack, 1994). NaCl, etlerde özellikle tuza hassas mikroorganizmaların üreme faaliyetlerinin durdurulmasında çok önemlidir. Yapılan bir çalışmada, %10 oranındaki tuzlu su ile kuzu etinde su aktivitesi değeri 0.95 değerinden 0.80 değerine kadar düştüğü belirtilmiştir (Chawla ve ark., 2006). Ozmotik ajan olarak sukroz kullanılarak yapılan bir çalışmada ise, kserofil mikroorganizmaların üremesinin, su aktivitesinin 0.96'a düşmesi ile durdurulduğu rapor edilmiştir (Gibbs & Gekas, 1998). Su kaybı ve katı madde kazanımının kinetiği, kullanılan ozmotik maddenin çeşidinden büyük ölçüde etkilenmektedir. Tuz ve şeker içeren üç bileşenli çözeltiler, genellikle et dehidrasyonu için ozmotik ajan olarak kullanılmaktadır (Collignan ve ark., 2001). Ozmotik dehidrasyon işleminde üçlü çözeltilerin kullanılması, aşırı tatlılık veya tuzluluk olmadan ve doyunluk sınırlarına ulaşmadan yüksek dehidrasyon sağlamak gibi bazı avantajlar sunmaktadır (Bohuon ve ark., 1998). Farklı konsantrasyonlarda şeker pancarı melası + NaCl + sakkaroz çözeltisinin, etin ozmotik dehidrasyon işleminde etkili olduğu gibi, şeker pancarı melası oranının daha yüksek olması su kaybını daha da arttırmaktadır (Filipović ve ark., 2014; Filipović ve ark., 2012). Şeker pancarı melası, yüksek kuru madde içeriği ve melastan et dokusuna nüfuz eden besinlerin eti zenginleştirilmesi nedeniyle, et dehidrasyonunda sıklıkla tercih edilen bir hipertonic çözeltidir (Ćurčić ve ark., 2013). Ozmotik ajan olarak kullanılan şeker

çözeltilerine ilave edilen sodyum klorür, düşük molekül ağırlığına sahip olmasından ve su aktivitesini düşürmesinden dolayı, ozmotik dehidrasyon etkisini artırdığı bildirilmiştir (Azoubel & Da Silva, 2008; Lerici ve ark., 1985; Taiwo ve ark., 2003). Ozmotik ajan olarak, sadece tuz kullanımı, tuz alımının artmasına ve son ürünün daha az tercih edilmesine sebep olmaktadır. Tuzun, şeker çözeltileri ile birlikte kullanımının daha etkili bir dehidrasyon sağladığı belirtilmiştir (Dimakopoulou-Papazoglou & Katsanidis, 2016; Filipović ve ark., 2017).

3.2. İşlem Sıcaklığı

Sıcaklık, ozmotik dehidrasyon kinetiğini etkileyen en önemli parametrelerden birisidir (Chandra & Kumari, 2015). Katı kazanımı sıcaklıktan daha az etkilenirken, su kaybı sıcaklık artışı ile artmaktadır. Sıcaklıktaki artış, ozmotik çözeltinin viskozitesini düşürmekte ve böylece ürün yüzeyindeki kütle transferine karşı oluşan dış direnç azalmaktadır. Bu durum su kaybını ve katı kazanımını daha da arttırmaktadır (Dimakopoulou-Papazoglou & Katsanidis, 2016; Telis ve ark., 2007). Yüksek işlem sıcaklığının, domuz eti (Filipović ve ark., 2014; Poligné ve ark., 2002, 2005), sığır eti (Dimakopoulou-Papazoglou & Katsanidis, 2016; Djelveh ve ark., 2001; Favetto ve ark., 1981) ve tavuk eti (Andreou ve ark., 2018; Filipović ve ark., 2017) dehidrasyonunda su kaybını artırdığı farklı araştırmacılar tarafından rapor edilmiştir.

3.3. İşlem Süresi

Teorik olarak, ozmotik dehidrasyon sırasındaki kütle transferi, ozmotik çözelti ile gıdanın su aktivitesi arasında bir denge kurulana kadar devam etmektedir (Lenart & Flink, 1984). Kütle aktarımının, sürecin ilk aşamalarında (ilk 2-3 saat) daha hızlı meydana geldiği ve aktarım hızının zaman içinde kademeli olarak azaldığı bildirilmiştir (Castro-Giraldez ve ark., 2010; Chabbouh ve ark., 2012; Poligné ve ark., 2005). Sığır etlerine %15'lik tuz ve %48.7'lik nişasta şurubu çözeltileri ile ozmotik dehidrasyon uygulandığı bir çalışmada, işlemin ilk 3 saatindeki su kaybının ağırlıkça yaklaşık %20 olduğu belirtilmiştir. 24 saatlik proses sona erdiğinde ise, toplam su kaybı %38 olarak ölçülmüştür (Santchurn ve ark., 2007). Bu nedenle, büyük miktardaki su kaybı ile yüksek dehidrasyon verimi sağladığı için, birçok araştırmacı etlerin ozmotik dehidrasyon için optimum sürenin 3-5 saat olduğunu belirtmektedir (Dimakopoulou-Papazoglou & Katsanidis, 2020). Yapılan başka bir çalışmada da, sıcaklık, daldırma süresi ve çözelti konsantrasyonu gibi parametreler içerisinde, domuz etinde su kaybı, katı kazanımı ve su aktivitesi üzerine, daldırma süresinin en etkili parametre olduğu belirtilmiştir (Filipović ve ark., 2014).

3.4. Karıştırma

Statik koşullar altında, et/çözelti arayüzündeki çözünmüş madde konsantrasyonu, etten ayrılan su ve ete geçen çözünmüş madde konsantrasyonu nedeni ile zamanla azalmaktadır. Eğer çözelti viskozitesi yüksek ise, ürünün çözelti ile temas hızı yavaştır. Kütle transferinin hızı, ozmotik çözeltinin işlem sırasında karıştırılmasıyla artırılabilir. Karıştırma, et ile çözelti arasında sürekli temas sağlarken, et/çözelti arayüzündeki ozmotik basıncın sabit kalmasına neden olmaktadır (Santchurn ve ark., 2007). Tek ya da çok bileşenli ozmotik ajan kullanıldığı durumlarda, tuz konsantrasyonunun artışı, karıştırmanın su kaybı ve katı madde kazanımı üzerine etkisini azaltabilmektedir. Çünkü tuz çözeltisinin düşük viskoziteye sahip olması, karıştırma işleminin kütle transfer hızında daha fazla bir artış sağlayamamasına neden olmaktadır (Bohuon ve ark., 1998; Cárcel ve ark., 2007).

3.5. Örnek/çözelti Oranı

Ozmotik dehidrasyon sırasında, etten ozmotik çözeltiliye su, çözüldükten ete de çözünen madde geçişi olmaktadır. Böylece ozmotik çözüldükte meydana gelen seyrelme, ozmotik basınç farkının azalmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle, çözüldükün ozmotik basıncının işlem boyunca korunmasını sağlamak için, uygun ozmotik çözüldük/örnek oranı seçilmesi önemlidir (Dimakopoulou-Papazoglou & Katsanidis, 2020). Literatür incelendiğinde, ozmotik çözüldük konsantrasyonunun minimum değışimde kalmasının hedeflendiği ve ozmotik dehidrasyon boyunca, çözüldük/örnek oranının 10:1 ve üzerinde birçok çalışma olduğu gibi (Bampi ve ark., 2016; Chabbouh ve ark., 2012; Dimakopoulou-Papazoglou & Katsanidis, 2019), daha düşük çözüldük/örnek oranının (5:1) kullanıldığı çalışmalar da bulunmaktadır (Curcic ve ark., 2014; Ćurčić ve ark., 2013; Filipović ve ark., 2017; Filipović ve ark., 2014; Filipović ve ark., 2012; Pezo ve ark., 2013). Ayrıca, bu düşük çözüldük/örnek oranının, herhangi bir konsantrasyon değışikliğine sebep olmayacağı da belirtilmiştir (Filipović ve ark., 2012).

4. Ozmotik Dehidrasyonun Kalite Üzerine Etkisi

Ozmotik dehidrasyon işlemi ile suyun yapıdan uzaklaşması sırasında meydana gelebilecek fiziksel ve kimyasal değışimler, birçok kalite özelliğini etkileyebilmektedir. Etler için en önemli kalite özelliklerinden biri renktir. Ette renkten sorumlu ana protein miyoglobindir, fakat hemoglobin ve sitokrom C gibi diğer hem proteinleri de sığır eti, kuzu eti, domuz eti ve tavuk eti rengine rol oynayabilir. Bu pigmentlerin yapısında bulunan demirin bileşiklere bağlanma reaksiyonları (oksijenasyon, oksidasyon, oksidasyon-redüksiyon, karboksimiyogloblin dönüşümü) sonucunda etin rengi değışebilmektedir (Mancini & Hunt, 2005). Ozmotik dehidrasyon işleminin etteki renk parametreleri üzerine (L^* , açıklık-koyuluk; a^* , kırmızılık-yeşillik; b^* , sarılık-mavilik) önemli bir etkisi vardır. Farklı ozmotik çözüldüklerin etkisine bağlı olarak et rengineki değışiklikler genellikle ΔL^* , Δa^* ve Δb^* olarak ifade edilebilir. Bu ifadeler aşağıdaki eşitlik 3, 4 ve 5 ile hesaplanabilmektedir. Burada, L^* , a^* ve b^* herhangi bir süredeki değeri, L^*_0 , a^*_0 ve b^*_0 ise başlangıç anındaki ($t=0$) değeri ifade etmektedir.

$$\Delta L^* = L^* - L^*_0 \quad (3)$$

$$\Delta a^* = a^* - a^*_0 \quad (4)$$

$$\Delta b^* = b^* - b^*_0 \quad (5)$$

Renk değışimleri aynı zamanda işlem süresine de bağlıdır ve daha uzun işlem sürelerinde daha yoğun renk değışimleri görülmektedir (Dimakopoulou-Papazoglou & Katsanidis, 2020). Fernández-López ve ark. (2004) tarafından yapılan çalışmada, domuz etinde tuz kullanımı, L^* değeri azaltırken, a^* ve b^* değeri arttırdığı bildirilmiştir. Su tutma kapasitesinin artması sonucu, ürün yüzeyinde su miktarının azalması L^* değeri azaltırken, tuz varlığında miyogloblin konsantrasyonunun ürün yüzeyinde artması sonucunda a^* değeri yükseldiğini belirtmişlerdir. Dimakopoulou-Papazoglou & Katsanidis (2017) sığır etinde ozmotik ajan olarak, maltodekstrin (MD), tuz (NaCl) ve sıvı tütsü (ST)'nin farklı konsantrasyonlarda kullanımıyla, hammaddeye daha yakın renk değeri elde etmişlerdir. Saito ve ark. (2010) yaptıkları bir çalışmada ise ozmotik ajan olarak şeker kullanımı ile orkinoslarda, yüksek a^* (kırmızılık) değeri elde

edilmiştir. Bu değeri orkinosta tazeliğin bir ölçüsü olarak da kullanılmaktadır.

Ozmotik dehidrasyon işlemi ile tuz ya da şeker gibi maddeler hücreye taşındığı için, kullanılabilir nem miktarı düşmektedir. Bu nem düşüşü, ozmotik dehidrasyon işlemine maruz kalmış olan etlerin mikrobiyal yükünün azalmasına neden olmaktadır. Dolayısı ile ürünün raf ömrü etkilenebilmektedir. Ozmotik dehidrasyon tek başına kararlı bir raf ömrü sağlayamasa da su aktivitesi üzerine etkisi mikrobiyolojik kaliteyi etkilemektedir. Andreou ve ark. (2018) tarafından yapılan bir çalışmada, tavuk filetolarında, maltodekstrin (MD) ve tuz içeren ozmotik çözüldük (%60 MD + %5 tuz, 15 °C) bekleme süresi arttıka, üründe su kaybı ve katı kazanımının arttığını, dolayısıyla da su aktivitesinin düştüğünü bildirmişlerdir. Sonuç olarak, raf ömrünün 5 °C'de 3 gün uzamasına neden olduğunu bildirmişlerdir. Filipović ve ark. (2019) tarafından yapılan diğer bir çalışmada, tavuk etinde ozmotik dehidrasyon işlemi için iki farklı ozmotik çözüldük (sulu ozmotik çözüldük ve şeker pancarı melası) kullanılmıştır. Kullanılan her iki ozmotik çözüldük de tavuk eti üzerindeki mevcut mikroorganizma sayısında önemli bir azalmaya (en yüksek düzeyde azalma *Listeria monocytogenes* mikroorganizmasında görülmüştür) neden olduğu bildirilmiştir. Sonuç olarak, işlem süresi ve ozmotik çözüldük konsantrasyonu parametre değeriindeki artış, tüm mikroorganizmaların azalmasında etkili olduğu belirtilmiştir. Dimakopoulou-Papazoglou & Katsanidis (2017) yaptıkları çalışmada ise, sığır etinin ozmotik dehidrasyonu sırasında gerçekteşen su kaybını açıklamak için Fick yasası başarıyla uygulanmıştır. Ozmotik dehidrasyon işlemi için maltodekstrin, tuz ve sudan oluşan üçlü çözüldük kullanılmıştır ve bu tür üçlü çözüldük kullanımının, sığır etinde mikrobiyal büyümeyi sınırlandırdığı, ek olarak sığır etinin raf ömrünü en az 2 gün uzatabildiği belirtilmiştir.

Ozmotik dehidrasyonun tekstürel özellikler üzerine etkisi irdelendiğinde, su kaybı nedeni ile ürünün tekstürel özelliklerinde bozulma meydana geldiğini belirtmişlerdir (Knežević ve ark., 2013). Fakat kullanılan ozmotik ajanlar içerisinde, tuz yerine sadece şeker pancarı melası kullanıldığı durumda, daha iyi tekstür özellikleri elde edilmiştir. Tuz kimyasal yapısı sebebi ile ette pH'a bağımlı olarak farklı özellikler gösterebilmektedir. Yapılan bir çalışmada, pH>6.2 olan etler ile hazırlanan kuru-kür edilmiş etlerin tekstür özelliklerinin, pH<5.7 olan etler ile hazırlanan kuru-kür edilmiş etlere göre daha iyi olduğu, başka bir deyişle, daha düşük sertlik değeri elde edildiğini belirtmişlerdir (Ruiz-Ramírez ve ark., 2005). Andreou ve ark. (2018), tavuk eti ile yaptıkları bir çalışmada, ozmotik ajan olarak maltodekstrin ve tuz kullanarak, üründe tekstür değışimini incelemişlerdir. Ozmotik dehidrasyon işlemi uygulanan örneklerin sertlik değeri, kontrol örnekleri ile (ozmotik dehidrasyon uygulanmamış) elde edilen değeri göre daha düşük bulunmuştur. Bu sonuçların aksine, Knežević ve ark. (2013) ve Ozuna ve ark. (2013) yaptıkları çalışmalarda ise, ozmotik dehidrasyon işlemi için kullanılan tuzun, domuz etinin sertlik değeri bir artışa neden olduğunu belirtmişlerdir. Bunun nedeninin ise, tuzun et dokusunda bulunan proteinlerin yapılarını bozması olduğunu söylemişlerdir. Fakat bu durumda en önemli parametrelerden birinin tuz konsantrasyonu olduğunu da ayrıca vurgulamışlardır

Ozmotik dehidrasyonun, etlerdeki lipid oksidasyonuna farklı etkilerinin olduğu ortaya konulmuştur. Yapılan bir çalışmada farklı oranlarda gliserol (%30, %40 ve %15) ve %5 oranında NaCl içeren ozmotik çözüldükler kullanılarak işlem görmüş yılan balığı filetolarında tespit edilen lipid oksidasyonu seviyesinin kontrol örneğine göre oldukça az olduğu belirlenmiştir (Giannakourou ve

ark., 2020). Lipid oksidasyonu açısından benzer sonuçlar, ön işlem olarak kullanılan ozmotik dehidrasyonun, farklı sıcaklıklarda muhafaza edilen çipura filetolarına etkisini araştıran bir çalışmada da elde edilmiştir. Tsironi & Taoukis (2017) tarafından yapılan çalışmada, örnekler depolanmadan önce farklı oranlarda yüksek dekstroz eşdeğerlikli maltodekstrin (HDM): NaCl, HDM: trehaloz: NaCl ve HDM: glukozamin: NaCl içeren ozmotik çözeltilerde bekletilmiştir. Her iki muhafaza sıcaklığında da, ozmotik dehidrasyonla işlem görmüş çipura örneklerinin tiyobarbitürik asit reaktif maddeleri (TBARS) değerlerinin (ikincil oksidasyon ürünlerinin bir ölçüsü) kontrol örneğinden düşük olduğu tespit edilmiştir. Bunların yanı sıra, kullanılan ozmotik çözelti bileşimi ve işlem süresinin etin lipid oksidasyonu üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu bildirilmiştir (Dimakopoulou-Papazoglou & Katsanidis, 2020). Dimakopoulou-Papazoglou & Katsanidis (2017), ozmotik çözeltinin NaCl konsantrasyonu arttıkça, lipid oksidasyonunun hızla ilerlediği ve etin TBARS değerlerinin daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Aynı çalışmada, fenolik bileşikler, karboniller, organik asit gibi maddeler içeren sıvı dumanın ozmotik çözeltiliye eklenmesinin, işlenmiş et ürünlerinde depolama süresince oluşan lipid oksidasyonunu önlediği de tespit edilmiştir.

5. Ozmotik Dehidrasyon Destekli Uygulamalar

Ozmotik dehidrasyon sırasında, çözelti ve gıda arasındaki ozmotik basınç farkının fazla olduğu durumda hızlı olan suyun hareketi, farkın azalması ile yavaşlamaktadır (Berk, 2018). Suyun hareketi hücrel materyallerde, homojen bir maddeye kıyasla daha fazla difüzyon katsayısına sahiptir (Rastogi ve ark., 2005). Bu nedenle, etin su içeriğinin azaltılmasında ozmotik dehidrasyon işleminin etkinliği artırılmalı veya bir ön işlem olarak, ultrases ya da yüksek basınç gibi uygulamalar ile birlikte kullanılması önerilmektedir.

Kurutma öncesi ozmotik dehidrasyon işlemi uygulandığında, ürünün su kaybı daha kısa sürede gerçekleşmektedir. Konvektif hava kurutma sistemi ile gerçekleştirilen kuru bir et üretiminde ozmotik dehidrasyon ön işleminin kurutma süresi üzerinde etkili olduğu bildirilmiştir (Chabbouh ve ark., 2011). Yapılan bir çalışmada, balık filetolarının ısı pompası kullanılarak kurutulmasında ön işlem olarak ultrases ile ozmotik dehidrasyon yöntemleri kullanılmıştır. Ultrases dalgalarının sağladığı yüksek ultrasonik titreşimler, sıvı içerisinde oluşan baloncukların büyümesini ve patlamasını sağlamaktadır. Kavitasyon olarak adlandırılan bu durum sonucunda, baloncukların asimetric patlaması katı materyale yakın olduğunda yüzeye doğru mikrojetler oluşturmaktadır. Böylece sınır katmanı uyararak kütle transferi üzerine etkili olmaktadır (Cárcel ve ark., 2007). Ultrases destekli ozmotik dehidrasyon uygulaması kurutma süresini kısaltırken, ürün kalitesini de olumlu yönde etkilediği bildirilmiştir. 10 dakikanın üzerinde uygulanan ultrases uygulaması ozmotik dehidrasyon ile kütle transferini arttırdığı vurgulanmıştır (Li ve ark., 2017). Ultrases kullanımı ile yürütülen başka bir çalışmada, domuz etinde %5 salamura kullanımıyla, miyofibriller protein matriksinde bulunan su, düşük güçte uygulanan ultrases güçleri ile (9.0 ve 54.9 W/cm²), yüksek güçteki uygulamaya kıyasla daha fazla uzaklaştırıldığı belirtilmiştir. Salamura kullanılmayan örneklerde ise, her iki güç uygulamasında da etteki su miktarının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Ojha ve ark., 2016).

Ultrases uygulamasından farklı olarak tavuk göğüs etinin raf ömrünü uzatmak amacı ile ozmotik dehidrasyon ve yüksek basınç işlemlerinin birlikte kullanımının tek başına kullanımına nazaran daha etkili olduğu bildirilmiştir (Andreou ve ark., 2018). Genellikle 100 MPa ile 1000 MPa arasında olan yüksek basınç uygulamaları gıda endüstrisinde yer bulan, ısı olmayan işlemlerdir. Etlerde mikrobiyolojik bozulmaları engellemek ve bazı tekstürel özellikleri iyileştirmek için kullanılabilirlerdir. Yüksek basınç özellikle protein yapıda bulunan bağlara etki ederek kuartern yapıyı bozabilmekte ve proteinin suya olan ilgisini etkilemektedir (Zorba & Şükrü, 2005). Yapılan bir çalışmada Villacís ve ark. (2008), hindi göğüs etlerinde, tuz ve nem difüzyonu üzerine yüksek basınç ve uygulama süresinin etkisinin oldukça yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Andreou ve ark. (2018) tavuk etinde ozmotik dehidrasyon ve yüksek basınç (400-600 MPa) uygulamalarının etkisini inceledikleri bir çalışmada, yüksek basınç uygulamasının tek başına mikrobiyal stabiliteyi sağlarken, kalite özellikleri üzerine olumsuz etkisi olduğunu belirtmişlerdir. Aynı çalışmada ozmotik dehidrasyon destekli yüksek basınç uygulaması ile kalite özelliklerinin yanı sıra raf ömrü üzerine de olumlu etkisi olduğu bildirilmiştir.

6. Sonuç

Öncelikli olarak ozmotik dehidrasyon işlemi, birçok işleme kıyasla oldukça ekonomik ve insan sağlığı için zararlı kimyasallara ihtiyaç duyulmayan bir yöntemdir. Kısmi kurutma işlemi olan ozmotik dehidrasyon işleminin, etlerin kalite karakteristikleri üzerine etkisinin incelendiği birçok çalışma yapılmıştır. Ozmotik dehidrasyon işleminin, etlerin işlenmesinde kurutma işlemi öncesinde tercih edildiği durumlarda ürünün kuruma süresini kısaltabilmektedir. Ozmotik ajanın çeşidine göre değişmekle birlikte, tazelik parametrelerinden biri olan a* değerini genellikle geliştirdiği ve tüketici beğenisini de arttırdığı görülmektedir. Etlerin ozmotik çözeltilere daldırılması sonucunda, mikrobiyolojik gelişimin geciktirildiği ve ürünün raf ömrünün iyileştirildiği bildirilmiştir. Ozmotik ajan olarak melas kullanıldığı durumlarda, materyalin tekstürel özelliklerinin olumlu yönde etkilendiği rapor edilmiştir. Sonuç olarak, ozmotik dehidrasyon işleminin, etlere başarılı bir şekilde uygulandığı ve birçok kalite özelliğini de geliştirilmesinde kullanılabilir olduğu söylenebilir. Bu kapsamda, ozmotik dehidrasyon uygulanan etin kalite özellikleri ve raf ömrü stabilitesi ile ilgili daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır.

Kaynakça

- Akbarian, M., Ghasemkhani, N., & Moayedı, F. (2014). Osmotic dehydration of fruits in food industrial: A review. *Int. J. Biosci*, 4(1), 42-57.
- Alamatian, S., Mohebbi, M., Varidi, M., & Nezhad, M. M. (2019). Modeling of osmotic treatment of ostrich meat coated by tragacanth and salep. *Meat Science*, 156, 231-239.
- Almeida, J. A., Mussi, L. P., Oliveira, D. B., & Pereira, N. R. (2015). Effect of temperature and sucrose concentration on the retention of polyphenol compounds and antioxidant activity of osmotically dehydrated bananas. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 1061-1069.
- Andreou, V., Tsironi, T., Dermesonlouglou, E., Katsaros, G., & Taoukis, P. (2018). Combinatory effect of osmotic and high pressure processing on shelf life extension of animal origin products—Application to chilled chicken breast fillets. *Food Packaging and Shelf Life*, 15, 43-51.

- Azoubel, P. M., & Da Silva, F. O. (2008). Optimisation of osmotic dehydration of 'Tommy Atkins' mango fruit. *International Journal of Food Science & Technology*, 43(7), 1276-1280.
- Azuara, E., Garcia, H. S., & Beristain, C. I. (1996). Effect of the centrifugal force on osmotic dehydration of potatoes and apples. *Food Research International*, 29(2), 195-199.
- Bampi, M., Domschke, N., Schmidt, F., & Laurindo, J. (2016). Influence of vacuum application, acid addition and partial replacement of NaCl by KCl on the mass transfer during salting of beef cuts. *LWT*, 74, 26-33.
- Berk, Z. (2018). *Food process engineering and technology*: Academic press.
- Bohuon, P., Collignan, A., Rios, G., & Raoult-Wack, A.-L. (1998). Soaking process in ternary liquids: experimental study of mass transport under natural and forced convection. *Journal of Food Engineering*, 37(4), 451-469.
- Cárcel, J., Benedito, J., Bon, J., & Mulet, A. (2007). High intensity ultrasound effects on meat brining. *Meat Science*, 76(4), 611-619.
- Castro-Giraldez, M., Fito, P., & Fito, P. (2010). Non-equilibrium thermodynamic approach to analyze the pork meat (Longissimus dorsi) salting process. *Journal of Food Engineering*, 99(1), 24-30.
- Cath, T. Y., Childress, A. E., & Elimelech, M. (2006). Forward osmosis: principles, applications, and recent developments. *Journal of membrane science*, 281(1-2), 70-87.
- Chabbouh, M., Ahmed, S. B. H., Farhat, A., Sahli, A., & Bellagha, S. (2012). Studies on the salting step of Tunisian kaddid meat: experimental kinetics, modeling and quality. *Food and Bioprocess Technology*, 5(5), 1882-1895.
- Chabbouh, M., Hajji, W., Hadj Ahmed, S. B., Farhat, A., Bellagha, S., & Sahli, A. (2011). Combined effects of osmotic dehydration and convective air drying on kaddid meats: Kinetics and quality. *Drying Technology*, 29(13), 1571-1579.
- Chandra, S., & Kumari, D. (2015). Recent development in osmotic dehydration of fruit and vegetables: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 55(4), 552-561.
- Chawla, S., Chander, R., & Sharma, A. (2006). Safe and shelf-stable natural casing using hurdle technology. *Food control*, 17(2), 127-131.
- Chua, K., & Chou, S. (2003). Low-cost drying methods for developing countries. *Trends in Food Science & Technology*, 14(12), 519-528.
- Collignan, A., Bohuon, P., Deumier, F., & Poligné, I. (2001). Osmotic treatment of fish and meat products. *Journal of Food Engineering*, 49(2-3), 153-162.
- Corzo, O., Bracho, N., Rodríguez, J., & Arias, J. M. (2016). Optimizing salting and smoking of Catfish (*Bagre Marinus*) using response surface methodology. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 25(3), 358-372.
- Curcic, B., Filipovic, V., Nicetin, M., Mišljenovic, N., & Pezo, L. (2014). Evaluation of mass transfer kinetics and efficiency of osmotic dehydration of pork meat. *Acta Univ. Sapientiae*, 7, 63-72.
- Ćurčić, B. L., Pezo, L. L., Lević, L. B., Knežević, V. M., Nićetin, M. R., Filipović, V. S., & Kuljanin, T. A. (2013). Osmotic dehydration of pork meat cubes: Response surface method analysis. *Acta Periodica Technologica*(44), 11-19.
- Dave, D., & Ghaly, A. E. (2011). Meat spoilage mechanisms and preservation techniques: a critical review. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 6(4), 486-510.
- Dimakopoulou-Papazoglou, D., & Katsanidis, E. (2016). Mass transfer kinetics during osmotic processing of beef meat using ternary solutions. *Food and Bioproducts Processing*, 100, 560-569.
- Dimakopoulou-Papazoglou, D., & Katsanidis, E. (2017). Effect of maltodextrin, sodium chloride, and liquid smoke on the mass transfer kinetics and storage stability of osmotically dehydrated beef meat. *Food and Bioprocess Technology*, 10(11), 2034-2045.
- Dimakopoulou-Papazoglou, D., & Katsanidis, E. (2019). Diffusion coefficients and volume changes of beef meat during osmotic dehydration in binary and ternary solutions. *Food and Bioproducts Processing*, 116, 10-19.
- Dimakopoulou-Papazoglou, D., & Katsanidis, E. (2020). Osmotic Processing of Meat: Mathematical Modeling and Quality Parameters. *Food Engineering Reviews*, 12(1), 32-47.
- Djelveh, G., Gros, J.-B., & Emam-Djomeh, Z. (2001). Osmotic Dehydration of Foods in a Multicomponent Solution Part II. Water Loss and Solute Uptake in Agar Gels and Meat. *LWT-Food Science and Technology*, 34(5), 319-323.
- Doğu, S. Ö., & Sarıçoban, C. (2014). Et ve ürünlerinde dekontaminasyon yöntemleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, European Journal of Science and Technology*, 1(3), 92-99.
- Favetto, G., Chirife, J., & Bartholomai, G. (1981). A study of water activity lowering in meat during immersion-cooking in sodium chloride-glycerol solutions. I. Equilibrium considerations and diffusional analysis of solute uptake. *International Journal of Food Science & Technology*, 16(6), 609-619.
- Fernández-López, J., Sayas-Barberá, E., Pérez-Alvarez, J., & Aranda-Catalá, V. (2004). Effect of sodium chloride, sodium tripolyphosphate and pH on color properties of pork meat. *Color Research & Application*, 29(1), 67-74.
- Filipović, V. S., Ćurčić, B. L., Nićetin, M. R., Plavšić, D. V., Koprivica, G. B., & Mišljenović, N. M. (2012). Mass transfer and microbiological profile of pork meat dehydrated in two different osmotic solutions. *Hemijaska industrija*, 66(5), 743-748.
- Filipović, V., Lević, L., Ćurčić, B., Nićetin, M., Pezo, L., & Mišljenović, N. (2014). Optimisation of mass transfer kinetics during osmotic dehydration of pork meat cubes in complex osmotic solution. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, 20(3), 305-314.
- Filipović, I., Ćurčić, B., Filipović, V., Nićetin, M., Filipović, J., & Knežević, V. (2017). The effects of technological parameters on chicken meat osmotic dehydration process efficiency. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(1), e13116.
- Filipović, I., Markov, S., Filipović, V., Filipović, J., Vujačić, V., & Pezo, L. (2019). The effects of the osmotic dehydration parameters on reduction of selected microorganisms on chicken meat. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(10), e14144.
- Giannakourou, M. C., Stavropoulou, N., Tsironi, T., Lougovois, V., Kyra, V., Konteles, S. J., & Sinanoglou, V. J. (2020). Application of hurdle technology for the shelf life extension of European eel (*Anguilla anguilla*) fillets. *Aquaculture and Fisheries*.
- Gibbs, P., & Gekas, V. (1998). Water activity and microbiological aspects of foods: A knowledge base. *Leatherhead Food Research Association, Leatherhead, UK*, 1-6.
- Ibarz, A., & Barbosa-Canovas, G. V. (2014). *Introduction to food process engineering*: CRC Press.
- Jain, S., Verma, R., Murdia, L., Jain, H., & Sharma, G. (2011). Optimization of process parameters for osmotic dehydration

- of papaya cubes. *Journal of food science and technology*, 48(2), 211-217.
- Khan, M. R. (2012). Osmotic dehydration technique for fruits preservation-A review. *Pakistan Journal of Food Sciences*, 22(2), 71-85.
- Knežević, V., Čurčić, B., Filipović, V., Nićetin, M., Lević, L., Kuljanin, T., & Gubić, J. (2013). Influence of osmotic dehydration on color and texture of pork meat. *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, 17(1), 39-42.
- Koprivica, G., Mišljenović, N., Lević, L., & Jevrić, L. (2010). Mass transfer kinetics during osmotic dehydration of plum in sugar beet molasses. *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, 14(1), 27-31.
- Landim, A. P. M., Barbosa, M. I. M. J., & Júnior, J. L. B. (2016). Influence of osmotic dehydration on bioactive compounds, antioxidant capacity, color and texture of fruits and vegetables: a review. *Ciência Rural*, 46(10), 1714-1722.
- Lemus-Mondaca, R., Zambra, C., Marín, F., Pérez-Won, M., & Tabilo-Munizaga, G. (2018). Mass Transfer Kinetic and Quality Changes During High-Pressure Impregnation (HPI) of Jumbo Squid (*Dosidicus gigas*) Slices. *Food and Bioprocess Technology*, 11(8), 1516-1526.
- Lenart, A., & Flink, J. (1984). Osmotic concentration of potato. I. Criteria for the end-point of the osmosis process. *International Journal of Food Science & Technology*, 19(1), 45-63.
- Lerici, C., Pinnavaia, G., ROSA, M. D., & Bartolucci, L. (1985). Osmotic dehydration of fruit: influence of osmotic agents on drying behavior and product quality. *Journal of food science*, 50(5), 1217-1219.
- Li, M., Ye, B., Guan, Z., Ge, Y., Li, J., & Ling, C.-m. (2017). Impact of ultrasound-assisted osmotic dehydration as a pretreatment on the quality of heat pump dried tilapia fillets. *Energy Procedia*, 123, 243-255.
- Ling, J. G., Xuan, X. T., Yu, N., Cui, Y., Shang, H. T., Liao, X. J., . . . Liu, D. H. (2020). High pressure-assisted vacuum-freeze drying: A novel, efficient way to accelerate moisture migration in shrimp processing. *Journal of food science*, 85(4), 1167-1176.
- Mancini, R., & Hunt, M. (2005). Current research in meat color. *Meat Science*, 71(1), 100-121.
- Martins, M. G., Chada, P. S. N., & da Silva Pena, R. (2019). Application of pulsed-vacuum on the salt impregnation process of pirarucu fillet. *Food Research International*, 120, 407-414.
- Miano, A. C., Rojas, M. L., & Augusto, P. E. (2017). Other Mass Transfer Unit Operations Enhanced by Ultrasound *Ultrasound: Advances for food processing and preservation* (pp. 369-389): Elsevier.
- Muguruma, M., Katayama, K., Nakamura, M., & Yamaguchi, M. (1987). Low-temperature osmotic dehydration improves the quality of intermediate moisture meats. *Meat Science*, 21(2), 99-109.
- Muñiz-Becerá, S., Méndez-Lagunas, L. L., & Rodríguez-Ramírez, J. (2017). Solute Transfer in Osmotic Dehydration of Vegetable Foods: A Review. *Journal of food science*, 82(10), 2251-2259.
- Najafi, A. H., Yusof, Y., Rahman, R., Ganjloo, A., & Ling, C. (2014). Effect of osmotic dehydration process using sucrose solution at mild temperature on mass transfer and quality attributes of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*). *International Food Research Journal*, 21(2).
- Offer, G. (1988). The structural basis of water-holding in meat. Part I: General principles and water uptake in meat processing. *Developments in meat science*.
- Ojha, K. S., Keenan, D. F., Bright, A., Kerry, J. P., & Tiwari, B. K. (2016). Ultrasound assisted diffusion of sodium salt replacer and effect on physicochemical properties of pork meat. *International Journal of Food Science & Technology*, 51(1), 37-45.
- Ozuna, C., Puig, A., García-Pérez, J. V., Mulet, A., & Cárcel, J. A. (2013). Influence of high intensity ultrasound application on mass transport, microstructure and textural properties of pork meat (*Longissimus dorsi*) brined at different NaCl concentrations. *Journal of Food Engineering*, 119(1), 84-93.
- Pan, Y., Zhao, L., Zhang, Y., Chen, G., & Mujumdar, A. S. (2003). Osmotic dehydration pretreatment in drying of fruits and vegetables. *Drying Technology*, 21(6), 1101-1114.
- Pearce, K. L., Rosenfold, K., Andersen, H. J., & Hopkins, D. L. (2011). Water distribution and mobility in meat during the conversion of muscle to meat and ageing and the impacts on fresh meat quality attributes—A review. *Meat Science*, 89(2), 111-124.
- Pezo, L. L., Čurčić, B. L., Filipović, V. S., Nićetin, M. R., Koprivica, G. B., Mišljenović, N. M., & Lević, L. B. (2013). Artificial neural network model of pork meat cubes osmotic dehydration. *Hemjska industrija*, 67(3), 465-475.
- Phisut, N. (2012). Factors affecting mass transfer during osmotic dehydration of fruits. *International Food Research Journal*, 19(1), 7.
- Pizarro-Oteiza, S., Briones-Labarca, V., Pérez-Won, M., Uribe, E., Lemus-Mondaca, R., Cañas-Sarazúa, R., & Tabilo-Munizaga, G. (2020). Enzymatic impregnation by high hydrostatic pressure as pretreatment for the tenderization process of Chilean abalone (*Concholepas concholepas*). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 65, 102451.
- Poligné, I., Collignan, A., & Trystram, G. (2002). Effects of salting, drying, cooking, and smoking operations on volatile compound formation and color patterns in pork. *Journal of food science*, 67(8), 2976-2986.
- Poligné, I., Collignan, A., & Trystram, G. (2005). Processing smoked pork belly by immersion in a complex solution at high temperature. *Journal of Food Engineering*, 66(2), 155-169.
- Qin, J., Wang, Z., Wang, X., & Shi, W. (2020). Effects of microwave time on quality of grass carp fillets processed through microwave combined with hot-air drying. *Food Science & Nutrition*, 8(8), 4159-4171.
- Ramya, V., & Jain, N. (2017). A review on osmotic dehydration of fruits and vegetables: An integrated approach. *Journal of Food Process Engineering*, 40(3), e12440.
- Raoult-Wack, A.-L. (1994). Recent advances in the osmotic dehydration of foods. *Trends in Food Science & Technology*, 5(8), 255-260.
- Rastogi, N., Angersbach, A., & Knorr, D. (2000). Evaluation of mass transfer mechanisms during osmotic treatment of plant materials. *Journal of food science*, 65(6), 1016-1019.
- Rastogi, N., Raghavarao, K., Niranjana, K., & Knorr, D. (2002). Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer. *Trends in Food Science & Technology*, 13(2), 48-59.
- Rastogi, N., Raghavarao, K., & Niranjana, K. (2005). Developments in osmotic dehydration *Emerging technologies for food processing* (pp. 221-249): Elsevier.

- Ruiz-Ramírez, J., Arnau, J., Serra, X., & Gou, P. (2005). Relationship between water content, NaCl content, pH and texture parameters in dry-cured muscles. *Meat Science*, 70(4), 579-587.
- Saito, K., HAMADA-SATO, N., Ahhmed, A., Kawahara, S., & Muguruma, M. (2010). Effects of osmotic dehydration sheets on freshness parameters of thunnus thynnus stored at cold temperatures. *Journal of Food Processing and Preservation*, 34(6), 1103-1120.
- Santchurn, S. J., Collignan, A., & Trystram, G. (2007). Impact of solute molecular mass and molality, and solution viscosity on mass transfer during immersion of meat in a complex solution. *Journal of Food Engineering*, 78(4), 1188-1201.
- Shi, J., & Xue, J. (2009). Application and development of osmotic dehydration technology in food processing. *Advances in food dehydration*, 20.
- Šuput, D. Z., Lazić, V. L., Pezo, L. L., Lončar, B. L., Filipović, V. S., Nićetin, M. R., & Knežević, V. (2015). Effects of temperature and immersion time on diffusion of moisture and minerals during rehydration of osmotically treated pork meat cubes. *Hemijaska industrija*, 69(3), 297-304.
- Šuput, D., Lazić, V., Pezo, L., Gubić, J., Šojić, B., Plavšić, D., Lončar B, Nićetin M, Filipović V, Knežević, V. (2019). Shelf life and quality of dehydrated meat packed in edible coating under modified atmosphere. *Romanian Biotechnological Letters*, 24(3), 545-553.
- Taiwo, K. A., Eshtiaghi, M. N., Ade-Omowaye, B. I., & Knorr, D. (2003). Osmotic dehydration of strawberry halves: influence of osmotic agents and pretreatment methods on mass transfer and product characteristics. *International Journal of Food Science & Technology*, 38(6), 693-707.
- Telis, V. R. N., Telis-Romero, J., Mazzotti, H., & Gabas, A. L. (2007). Viscosity of aqueous carbohydrate solutions at different temperatures and concentrations. *International Journal of food properties*, 10(1), 185-195.
- Tsironi, T. N., & Taoukis, P. S. (2017). Effect of storage temperature and osmotic pre-treatment with alternative solutes on the shelf-life of gilthead seabream (*Sparus aurata*) fillets. *Aquaculture and fisheries*, 2(1), 39-47.
- Villacís, M., Rastogi, N., & Balasubramaniam, V. (2008). Effect of high pressure on moisture and NaCl diffusion into turkey breast. *LWT-Food Science and Technology*, 41(5), 836-844.
- Wang, Z., Xu, W., Kang, N., Shen, Q., & Zhang, D. (2016). Microstructural, protein denaturation and water holding properties of lamb under pulse vacuum brining. *Meat Science*, 113, 132-138.
- Welti-Chanes, J., Vergara-Balderas, F., & Bermúdez-Aguirre, D. (2005). Transport phenomena in food engineering: basic concepts and advances. *Journal of Food Engineering*, 67(1-2), 113-128.
- Zorba, Ö., & Şükrü, K. (2005). Yüksek basınç uygulamalarının et ve et ürünleri kalitesi üzerine etkisi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 16(1), 71-76.



Yabancı Otların Farklı Kişniş (*Coriandrum sativum* L.) Çeşitlerinde Verim Ve Verim Unsurlarına Etkisi*

Muhammed İsmailoğlu¹, Reyvan Yergin Özkan^{2†}

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7798-8393), mohamadwesol@gmail.com

²Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Van, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2319-404X), reyvanvergin@yyu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 22 Kasım 2020 ve Kabul Tarihi 31 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.866360)

ATIF/REFERENCE: İsmailoğlu, M. & Yergin Özkan, R. (2021). Yabancı Otların Farklı Kişniş (*Coriandrum sativum* L.) Çeşitlerinde Verim ve Verim Unsurlarına Etkisi. *European Journal of Science and Technology*, (21), 543-548.

Öz

Bu çalışma, 2018-2019 yıllarında Van ilinde yürütülmüştür. Çalışmada yabancı otların kişniş (*Coriandrum sativum* L.) bitkisinin üç farklı çeşidinin (Arslan, Gürbüz, Kudret) verim ve verim öğeleri üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Denemede yabancı otsuz parsellerde hasata kadar her hafta yabancı otlar ile elle çapa yöntemi ile mücadele yapılmış, yabancı otlu parsellerde ise herhangi bir kontrol işlemi yapılmamıştır. Çalışmada kişniş bitkisinin bitki boyu, ana dal sayısı, şemsiye sayısı, şemsiyede meyve sayısı, bin tane ağırlığı, meyve verimi ve biyolojik verim gibi özellikler incelenmiştir. Sonuç olarak; yabancı otlu parseller ile yabancı otsuz parseller arasında farklılıklar önemli bulunmuştur. Meyve veriminde en yüksek değer Gürbüz çeşidinin yabancı otsuz uygulamasında tespit edilmiştir. Çalışmanın ilk yılında ve ikinci yılında sırası ile 96.0 kg/da ve 141.0 kg/da meyve verimi elde edilmiştir. Önemli bir verim unsuru olan biyolojik verim ise ilk yıl Arslan çeşidinin yabancı otsuz uygulamasından, ikinci yıl ise Gürbüz çeşidinin yabancı otsuz uygulamasından elde edilmiştir. Bölgenin kişniş yetiştiriciliği için uygun olduğu, yabancı otların birden fazla verim ve verim unsuru üzerine olumsuz etki yaptığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Coriandrum sativum*, Yabancı ot, Verim, Mücadele.

The Effect of Weeds on Yield and Yield Components in Different Coriander (*Coriandrum sativum* L.) Cultivars

Abstract

This study was conducted in the province of Van in 2018-2019. The aim of the study was to determine the effects of three different cultivars (Arslan, Gurbuz, Kudret) of coriander (*Coriandrum sativum* L.) on yield and yield components of weeds. In the study, weeds were management with hand hoeing method every week until harvest in weed-free plots, and no controlling was made on weedy parcels. In this study, plant height, the number of main branches, the number of umbrella, the number of seeds in the umbrella, thousand seed weight, fruit yield, and biological yield of coriander varieties were investigated. As a result; differences were found to be significant between weedy parcels and weed-free parcels. The highest value in fruit yield was determined in the application of the Gurbuz cultivar without weed. In the first year and second year of the study, 96.0 kg/da and 141.0 kg/da fruit yield were obtained, respectively. Biological yield, which is an important factor of yield, was obtained from Arslan cultivar weed-free practice in the first year and from Gurbuz cultivar weed-free practice in the second year. It has been determined that the region is suitable for coriander cultivation and that weeds have a negative effect on more than one yield and yield components.

Keywords: *Coriandrum sativum*, Weed, Yield, Management.

* Bu çalışma Muhammed İSMAİLOĞLU'nun yüksek lisans (Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü) tezinden üretilmiştir.

† Sorumlu Yazar: reyvanvergin@yyu.edu.tr

1. Giriş

Tıbbi ve aromatik bitkiler zengin bir çeşitliliğe sahiptir. *Coriandrum sativum* L. bitkisi bu grup içerisinde yer alan; ülkemizde kişniş, ašotu, kuzbere gibi isimlerle bilinen Umbellifereae (Apiaceae) familyasına ait tek yıllık bir bitkidir (Diederichsen, 1996). Kişnişin meyveleri ve yeşil yaprakları baharat olarak kullanılmakla birlikte tohum ve uçucu yağının dünya pazarında ticari değeri oldukça yüksektir. Bu nedenle tohum ve yaprak verimi yüksek çeşit ve varyetelerin tarımının yapılması arzu edilmektedir (Ayanoglu ve ark., 2002). Meyvelerinde uçucu yağ oranı %0.03-2.60 (Diederichsen, 1996) ve uçucu yağın ana bileşeni olan linalool ise %50-70 arasında değişkenlik göstermektedir. Bu madde parfüm ve kozmetik ürünlerinde son derece önemli bir hammaddedir (Wanger ve ark 1992, Doğan ve ark 1984). Ayrıca uçucu yağı, bakterisit ve fungusit etkisinden dolayı gıda ve farmasötik ürünlerde koruyucu olarak da kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra halk hekimliğinde uzun yıllardan beri iştah açıcı, gaz söktürücü ve hazmettirici olarak kullanıldığı bilinmektedir (Doğan ve ark., 1984).

Anavatanının Anadolu ve Kafkasya olduğu sanılan kişniş bitkisinin Akdeniz ülkelerinde yaygın olarak yetiştirilmektedir. Kişniş tarımı Rusya, Macaristan, Polonya, Bulgaristan, İngiltere, Hollanda, Fas, Mısır gibi ülkelerde yapılmaktadır. Ülkemizde ise Göller Bölgesinde, Ankara, Eskişehir, Mardin, Gaziantep, Burdur, Erzurum ve Konya'da tarımı yapılabilmektedir (Kaya ve ark., 2000; Kan ve İpek 2002; Baydar, 2013). Bitkinin keskin kokulu olan yeşil yaprakları ülkemizin değişik bölgelerinde mutfaklarda maydanoz gibi kullanılır. Fakat bitkinin asıl kullanılan kısmı kurutulmuş meyveleridir. Taze iken oldukça nahoş kokulu olan tohumlarda, kuruduğu zaman baharatsı ve hoşça giden bir koku oluşur. Bitki Anadolu'da yabancı olarak bulunur. Ülkemizde baharat olarak kullanımı azdır (Kırıcı, 1999). Çalışmanın yürütüldüğü Van İlinde az miktarda üretilmektedir. Bitkinin tohumları turşu yapımında yeşil aksamı ise salatalarda taze olarak kullanılmakla birlikte kurutulmuş veya salamurası yapılarak da kullanılmaktadır (Tunçtürk, 2006; Tunçtürk, 2011).

Kişniş sulu koşullarda yetiştirilen bir üründür. Yabancı otlar kültür bitkileri ile toprak nem, besinler, ışık ve yer için rekabete girer. Bu durum kişniş gibi gelişmesinin ilk dönemlerinde hassas olan bitkilerde önemli oranda verim kayıplarına yol açar. Yapılan çalışmalarda bu kaybın %60 civarında olduğu tespit edilmiştir (Kushwaha ve ark., 2002). Yadav ve ark. (2004) tarafından yapılan çalışmada kişniş ile aynı aileden olan kimyon bitkisinde herbisit kullanımı yabancı otların yoğunluğu, kuru ağırlığı ve besin maddelerinin tükenmesinde önemli oranda azalmaya neden olmuştur. Bu durumda yabancı otlarla entegre mücadelenin önemini ortaya çıkarmıştır. Herbisit ve çapalamanın birlikte uygulanmasının en ekonomik ve etkili bir yöntem olabileceği ifade edilmiştir (Nagar ve ark., 2009). Dünya'da en büyük kişniş üretim alanına sahip olan Hindistan'da yabancı otların %37-40 arasında tohum verim kaybına sebep olduğu belirtilmiştir (Panara ve ark., 2015).

Kişniş son yıllarda ülkemizde ihraç ürünleri arasında yer almaya başlamıştır. Çok fazla kullanım alanına sahip tıbbi ve aromatik bitkilerin doğadan toplanması yerine kültür şartlarında yetiştirilmesi hem ülke ekonomisi için hem de doğaya yapılan tahribatı önlemek için oldukça önemlidir. Dünya piyasalarında ihraç ürünlerinde söz sahibi olabilmek, standartlara uygun, kaliteli ürünler yetiştirmekle mümkündür. Standartlara uygun kaliteli ürünleri yetiştirmek için uygun ekolojik şartlarda uygun

çeşit ve yetiştirme tekniklerinin kullanılması önem arz etmektedir. Bu çalışmada Van ilinde yeşil aksamı için bahçelerde yetiştirilen kişniş bitkisinden yüksek tohum verimi ve kaliteli ürün olarak ekiliş alanlarının artmasına katkı sağlanması amacıyla farklı kişniş (*Coriandrum sativum* L.) çeşitlerinin verim ve verim unsurlarının yabancı otlarıya karşı etkisi araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Çalışma 2018-2019 yıllarında Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi'ne ait deneme alanlarında yürütülmüştür. Denemede materyal olarak Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri bölümünden temin edilen kişniş (*Coriandrum sativum* L.) bitkisinin Arslan, Kudret ve Gürbüz çeşitleri kullanılmıştır.

Denemelerin kurulduğu araziden alınan (0-20 ve 20-40 cm derinlik) toprak örneklerinin Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü'nde yapılan analiz sonuçlarına göre araştırma alanının toprakları kumlu killi tın tekstür yapısında, pH alkali reaksiyonlu (8.18) ve tuz oranı (238 μ S/cm) düşük olup organik madde (%0.48) bakımından fakir, kireçli (% 6.3), azot içeriği (0.049 (me/100g)) ve yarıyıllık fosfor içeriği (7.5 ppm) çok düşük, potasyum miktarının (247 ppm) ise yeterli düzeyde olduğu belirlenmiştir.

Araştırmanın yapıldığı bölgenin bazı iklimsel verileri Tablo 1'de verilmiştir (MGM, 2020). Denemenin yürütüldüğü 2018 ve 2019 yıllarında, mevsim boyunca yağış sırasıyla 430.9 mm ve 282.3 mm olarak tespit edilmiştir. İlk yılın toplam yağış miktarı her ne kadar uzun dönem yağış miktarının (396 mm) üzerinde olsa da denemenin ikinci yılında (282.3 mm) oldukça altında gerçekleşmiştir. Buna karşılık denemenin her iki yılında da ortalama sıcaklık değerleri uzun yıllar ortalamasının (9.4 °C) üzerinde olduğu belirlenmiştir.

Tablo 1. Van'da 2018–19 ve 1939–2019 vejetasyon dönemlerine ait bazı iklimsel veriler:

Ay	Yağış (mm)			Ortalama sıcaklık (°C)		
	2018	2019	UYO*	2018	2019	UYO*
Ocak	38.0	40.8	35.6	0.7	-0.8	-3.1
Şubat	27.2	25.3	33.4	2.7	-0.6	-2.5
Mart	37.2	35.2	46.4	8.2	2.9	1.5
Nisan	38.9	47.9	55.6	10.2	7.2	7.6
Mayıs	85.5	18.4	45.9	14.3	15.4	13.1
Haziran	16.4	7.4	18.6	19.5	21.4	18.2
Temmuz	-	0.4	6.2	24.8	23.0	22.2
Ağustos	-	1.1	5.8	23.6	23.7	22.1
Eylül	0.1	0.8	15.8	19.8	18.8	17.8
Ekim	73.7	26.0	47	13.0	13.4	11.2
Kasım	27.9	25.5	47.7	6.4	5.2	4.8
Aralık	86.0	53.5	38	2.9	3.0	-0.4
Yıllık toplam	430.9	282.3	396			
Yıllık ortalama				12.1	11.0	9.4

*UYO. Uzun yıllar ortalaması (1939-2019) (MGM,2020).

2.2. Yöntem

Deneme 2018 ve 2019 yıllarında Nisan ayında tesadüf blokları deneme desenine göre 4 tekrarlı olarak kurulmuştur. Denemelerin yürütüldüğü tarla, her iki yılda da sonbaharda pullukla derin işleme yapıldıktan sonra ilkbaharda ekimden önce ikileme yapılmak suretiyle ekime hazır hale getirilmiştir. Her parsel 20 m² (4x5 m) olacak şekilde parselasyon yapılmıştır (EPPO, 1986). Ancak yabancı otların çeşitlerine etkisinin belirlenmesi amacıyla her bir parsel otlu ve otsuz olacak şekilde 10 m²'ye ayrılmıştır. Otlulu olan tarafa ekim yapıldıktan sonra gereken bakım işlemleri yapılmış ancak yabancı ot temizliği yapılmamıştır. Otsuz olan tarafa ise hasata kadar her hafta elle çapa yöntemi ile yabancı ot temizliği yapılmıştır. Her parselde 25 cm aralıkla 8 sıra ekilmiştir. Uygulanan çeşitlerin tohum boyutunun farklı olması sebebiyle bin dane ağırlıklarına göre çeşitlerin parsellere göre ekim miktarı belirlenmiştir Buna göre Arslan 240 g, Gürbüz ve Kudret 270 g olacak şekilde ekim yapılmıştır. Her iki deneme yılında da deneme alanına 3 kg/da DAP (Diamonyum Fosfat) uygulanmıştır. Bunun yanında araştırmada gerekli bütün bakım işlemleri tekniğine göre yapılmıştır (Tunçtürk, 2006). Hasatta kenar sıralar ve sıraların başlarından 50 cm'lik kısımlar kenar tesiri olarak bırakılmış ve değerlendirilmeler 4 m²'lik alan üzerinden yapılmıştır.

Hasat sonrası yabancı otların kişniş bitkisinin verim değerlerine etkisini belirlemek için kenar tesirleri hariç tutularak rastgele seçilen 10 bitkide, bitki boyu (cm), ana dal sayısı (adet/bitki), şemsiye sayısı (adet/bitki), şemsiyecik sayısı (adet/bitki) ve şemsiyedeki meyve sayısı (adet/şemsiye) ölçülmüştür. Bitkiler hasat olgunluğuna geldiğinde kenar tesirleri çıkarılarak hasat edilmiştir. Hasat edilen bitkiler tarlada 3-4 gün süreyle gölgede kurutulduktan sonra elle ve elek yardımı ile harmanlanmış tohum verimleri hesaplanmıştır. Elde edilen parsel verimlerinden 4' er adet 100 tohum tartılıp ortalaması alınarak bin tane ağırlıkları ve biyolojik verim hesaplanmıştır.

Çalışmadaki normal dağılıma sahip özelliklerin ortalamaları arasındaki farklılıkların belirlenmesinde genel doğrusal model (General Linear Model, GLM) analizi yapılarak, gruplar arasındaki farklılıkların önemli olup-olmadığını belirlenmesinde Duncan çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır. Bununla beraber, normal dağılıma sahip olmayan verilerin analizinde non-parametrik bir yöntem olan "Kruskal-Wallis Testi" uygulanmış ve elde edilen ortalamalar arasındaki farklılıkların belirlenmesinde Bonferroni düzeltmeli Dunn's testi uygulanmıştır. Çalışmada elde edilen verilerin istatistik analizinde, SAS 9.4 (SAS, 2014) paket programı kullanılmıştır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Yabancı otlanmaya karşı üç farklı kişniş (*Coriandrum sativum* L.) çeşidinin bazı verim kriterlerine etkisinin incelendiği çalışmada ortalamalara ait sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir. Çalışmanın her iki yılında bütün verim unsurları arasındaki fark önemli bulunmuştur. Ana dal sayısı 2018 yılında Kudret çeşidinde otlu ve otsuz uygulamaları birbirine yakın gruplarda yer almıştır. Ancak Arslan ve Gürbüz çeşitlerinde bu uygulamalar farklı gruplarda yer almıştır. Çalışmanın ikinci yılında ise bu farklılık tüm çeşitlerde gözlenmiş, en yüksek ana dal sayısı 10.52 adet/bitki ile Arslan çeşidi yabancı otsuz uygulamasından; en düşük ana dal sayısı 3.37 adet/bitki ile yine aynı çeşidin otlu uygulamasından elde edilmiştir. Şemsiye sayısında da benzer sonuçlar elde edilmiş olup her iki yılda da uygulamaların çeşitler üzerine etkisi önemli farklılıklara sebep olmuştur. Her iki yıla

bakıldığında ortalama 3.27-16.77 adet/bitki arasında değiştiği belirlenmiştir. Çalışmanın ilk yılında Gürbüz ve Kudret çeşidinin yabancı otlu uygulamaları aynı grupta yer almıştır. Benzer durum çalışmanın ikinci yılında da gözlenmiş olup bu çeşitlerin yabancı otlu uygulamaları yakın gruplarda yer almış, yabancı otsuz uygulamaları ise aynı grupta yer almıştır. Şemsiyecik sayısında da benzer sonuç gözlenmiş olup Kudret ve Gürbüz çeşidinden elde edilen ortalamalar yakın gruplarda yer almıştır. Başka bir verim unsuru olan şemsiyedeki meyve sayısında da uygulamaların çeşitler üzerine etkisi önemli farklılığa sebep olmuştur. Şemsiyedeki meyve sayısı en düşük 7.65 adet/şemsiye Kudret yabancı otlu uygulamasından; en yüksek 40.75 adet/şemsiye ile Gürbüz çeşidi yabancı otsuz uygulamasından elde edilmiştir. Bitki başına şemsiye sayısı, dal sayısı ile pozitif ilişkili bir özelliktir. Nitekim dal sayısındaki artışın bitki başına şemsiye sayısına yansımaları beklenen sonuçtur. Bizim çalışmamızda yabancı otlu ve otsuz uygulamalar her iki yılda da ana dal sayısında farklılığa neden olmuştur. Bütün çeşitlerde her iki yılda da yabancı otlu ve otsuz uygulamalar şemsiye ve şemsiyecik sayısına önemli oranda etki etmiştir. Bu da meyve sayısı verimine yansımıştır. Çalışmada yabancı otsuz uygulaması meyveli dal sayısında ve yan dallarda oluşan çiçeklerin tohum bağlama oranını arttırmıştır. Yabancı otlar ve kültür bitkileri arasındaki rekabet şartları göz önüne alındığında beklenen sonuçların elde edildiği tespit edilmiştir (Meena ve ark., 2014). Denemenin yürütüldüğü yıllar arasındaki iklimsel değerler arasındaki farklılık özellikle meyve veriminde ortalamaların farklı değerlerde oluşmasına neden olmuştur. Bu verim unsurlarının çeşit×yıl interaksyonuna bakıldığında ise sadece bütün verim ve verim unsurları önemli çıkmıştır (Tablo 2).

Kişniş çeşitlerinde yapılan uygulamaların bitki boyu, bitki başına tohum verimi, meyve ve biyolojik verim ile bin tane ağırlığına etkisine ait ortalamaları Tablo 3'te verilmiştir. Çalışmanın her iki yılında da bitki boyunda çeşitler ve uygulamalar arasında fark önemli çıkmıştır. Çalışmanın ikinci yılında Gürbüz ve Arslan çeşitlerinin yabancı otlu ve otsuz uygulamaları arasında fark önemsiz çıkmış, bunun dışında bütün çeşitler uygulamalardan etkilenmiş ve farklı gruplarda yer almıştır. Buna göre en yüksek bitki boyu 69.85 cm ile Gürbüz çeşidinin yabancı otlu uygulamasından elde edilmiştir. Çeşitlerde yabancı otlu parsellerde bitki boyunun yüksek olmasının yabancı ot rekabetinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu sonuçlar biyolojik verim ile de paralellik göstermiş olup farklılıklar önemli bulunmuştur. Çalışmanın ilk yılında bütün çeşitlerin yabancı otlu uygulamaları aynı gruplarda yer almıştır. Bitki başına tohum veriminde de her iki yılda farklılıklar önemli bulunmuştur. Yabancı otlu ile otsuz uygulamalar bütün çeşitlerde farklılığa sebep olmuştur. En yüksek tohum verimi 3.25 cm ile Gürbüz yabancı otsuz uygulamasından elde edilmiştir. Meyve veriminde de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bütün çeşitler arasındaki farklılık önemli bulunmuştur. Çalışmanın ilk yılında çeşitler üzerinde uygulamaların etkisine bakıldığında yabancı otlu ve otsuz uygulamalar yakın gruplarda yer almıştır. Yabancı otlu ve otsuz uygulamalar çalışmanın ikinci yılında da büyük farklılığa neden olmuştur. En düşük meyve verimi 35 kg/da ile Kudret çeşidinden, en yüksek meyve verimi olan 141 kg/da ile Gürbüz çeşidinin yabancı otsuz uygulamasından elde edilmiştir. Çalışmanın ilk yılında her ne kadar Kudret yabancı otsuz uygulamasından 96 kg/da en yüksek meyve verimi elde edilmiş olsada bu sonuç istatistik olarak Gürbüz yabancı otsuz uygulaması ile aynı grupta yer almıştır. Buna göre meyve veriminde her iki yılda da en yüksek meyve verimi Gürbüz yabancı otsuz uygulamasından elde edildiği ifade edilebilir. Her

iki yılda da bin tane ağırlığında farklılıklar önemli bulunmuştur. Çalışmanın ilk yılında uygulamaların çeşitler üzerinde çok büyük bir etkisi olmadığı ve genellikle aynı gruplarda yer aldıkları belirlenmiştir. İkinci yılda ise Arslan ve Kudret çeşitlerinde yabancı otlu ve otsuz uygulamalar farklı gruplarda yer almıştır. Buna göre 2019 yılında 12.20 g ile Arslan çeşidi en yüksek bin tane ağırlığına sahip olmuştur. Bilindiği gibi, tane iriliği çeşit özelliği olmasının yanında çevresel etkenler ve kültürel uygulamalardan etkilenen bir özelliktir. Yabancı otların etkisi bu karakterlere tam olarak yansımıştır. Bu bilgiler çalışmamızdan elde edilen sonuçlara ile de benzerlik göstermektedir. Çeşit×yıl interaksiyonunda ise bütün verim öğelerinde etki önemli bulunmuştur (Tablo 3).

Elde edilen verim kriterlerine ait sonuçlar Meena ve ark. (2014) tarafından *Nigella sativa*'da yürütülen çalışma ile benzerlik göstermiştir. Çalışmada en düşük verim değerlerinin yabancı otlu uygulamadan elde edildiği ifade edilmiştir. Kışniş bitkisinde yabancı otların entegre mücadelesi konusunda yapılan çalışmada yabancı otlu ve otsuz uygulamaların bitki boyu üzerinde önemsiz etkiye sahip olduğu ifade edilmiştir. Bizim çalışmamızda benzer olarak dal sayısı otsuz uygulamada 8.9 adet/bitki iken otlu da 4.8 adet/bitki olarak belirlenmiştir. Şemsiye sayısında otlu ve otsuz uygulamaları sırası ile 7.2 adet/bitki ve 14.0 adet/bitki; tohum veriminde ise 697 ve 1250 kg/ha olarak belirlenmiştir (Sagarka ve ark., 2005). Elde edilen verim değerlerinin söz konusu çalışmada yüksek olmasının çeşit farklılığından ve ekolojik koşullardaki farklılıktan kaynakladığı

düşünülmektedir. Kışniş bitkisinde yabancı otların entegre mücadelesi amacıyla yürütülen bir başka çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmiş olup kışnişin kritik periyot döneminde yabancı otlarla mücadelenin verime önemli katkı sağladığı ifade edilmiştir (Panara ve ark., 2015).

Nagar ve ark. (2009) tarafından yapılan kışnişte yapılan çalışmada çıkıştan sonraki 30 ve 45. günlerde elle mücadele uygulanmıştır. Dal sayısı yabancı otlu uygulamada 7.19, ilk uygulamada (30. Gün) 12.17, ikinci uygulamada (30 ve 45. Gün) ise 13.96 olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada dal sayısı arasındaki fark önemsiz bulunmuştur. Şemsiye sayısı mücadele yapılmadığında 17.48, ilk uygulamada 24.6, ikinci uygulamada 28.1; şemsiyedeki tohum sayısı ise sırasıyla 19.36, 26.42 ve 28.13 olduğu tespit edilmiştir. Benzer olarak bizim çalışmamızda da şemsiye sayısı yabancı otlu parsellerde 9.5-14.32 adet/bitki, yabancı otsuz parsellerde 5.27-17.91 adet/bitki; şemsiyedeki tohum sayısı ise yabancı otlu parsellerde 7.65-34.34 adet/şemsiye, yabancı otsuz uygulamada ise 12.14-40.75 adet/şemsiye arasında değişmektedir. Benzer sonuçlar Solanki (2008) tarafından yapılan çalışmada da elde edilmiştir. Entegre mücadelenin yapıldığı bir başka çalışmada ise 20 ve 40. günlerde elle yolma yöntemi uygulanmış maksimum bitki boyu (70.28 cm), dal sayısı/bitki (6.83), şemsiye sayısı/bitki (30.95), şemsiyecik/şemsiye (6.45), tohum/şemsiyecik (5.63) oranları elde edilmiştir. Bu sonuçlar 20 ve 40. gün elle yolma+ pendimethalin uygulaması ile kıyaslandığında aradaki fark önemsiz bulunmuştur (Panchal ve ark., 2014).

Tablo 2. Kışniş çeşitlerinde yapılan uygulamaların ana dal, şemsiye, şemsiyecik ve şemsiyedeki meyve sayısına etkisi

Yıl	Çeşit	Uygulama	Ana dal sayısı (adet/bitki)	Şemsiye Sayısı (adet/bitki)	Şemsiyecik sayısı (adet/bitki)	Şemsiyede meyve sayısı (adet/şemsiye)
2018	Arslan	Otlu	6.85 (0.11) b	9.05 (0.06) d	22.22 (1.35) d	14.42 (1.70) d
		Otsuz	10.52 (0.20) a	12.75 (1.00) c	41.95 (2.97) b	30.67 (3.39) abc
	Gürbüz	Otlu	5.70 (0.23) c	13.85 (0.73) bc	30.92 (1.42) cd	34.34 (2.29) ab
		Otsuz	7.65 (0.11) ab	16.77 (0.64) ab	64.05 (1.21) a	40.75 (1.24) a
	Kudret	Otlu	6.87 (0.38) b	14.32 (0.57) bc	37.27 (2.11) bc	22.70 (0.09) c
		Otsuz	7.25 (0.27) ab	17.91 (0.38) a	67.87 (2.67) a	28.98 (0.52) bc
			p	*	*	*
2019	Arslan	Otlu	3.37 (0.10) d	3.27 (0.04) c	10.02 (0.67) c	7.99 (0.10) d
		Otsuz	4.57 (0.12) bc	5.02 (0.09) b	18.00 (0.90) b	12.14 (0.32) bc
	Gürbüz	Otlu	3.42 (0.11) d	4.40 (0.18) bc	16.62 (1.17) bc	11.33 (0.34) cd
		Otsuz	5.77 (0.06) a	9.57 (0.26) a	43.30 (2.48) a	23.00 (0.53) a
	Kudret	Otlu	3.70 (0.12) dc	5.27 (0.39) b	16.35 (0.59) bc	7.65 (0.60) d
		Otsuz	5.32 (0.13) ab	10.20 (0.26) a	36.27 (1.23) a	15.02 (0.77) b
			p	*	*	*

Varyasyon Kaynakları

	Ana dal sayısı (adet/bitki)	Şemsiye Sayısı (adet/bitki)	Şemsiyecik sayısı (adet/bitki)	Şemsiyede meyve sayısı (adet/şemsiye)
Çeşit	*	*	*	*
Yıl	*	*	*	*
Çeşit×Yıl	*	*	*	*
CV(%)	14.10	14.61	13.95	13.74

(*) p<0.05. ös: önemsiz. Sonuçlar "Kruskal-Wallis" yöntemi ile analiz edilmiştir. Parantez içindeki değerler standart hatayı (±) ifade etmektedir.

a, b, c, d Aynı sütundaki farklı harflere sahip ortalamalar arasındaki fark önemlidir.

Tablo 3. Kişniş çeşitlerinde yapılan uygulamaların bitki boyu, bitki başına tohum verimi, meyve ve biyolojik verim ile bin tane ağırlığına etkisi

Yıl	Çeşit	Uygulama	Bitki boyu (cm)	Bitki başına tohum verimi (g)	Meyve verimi (kg/da)	Biyolojik Verim (g)	Bin tane ağırlığı (g)
2018	Arslan	Otlu	59.35 (2.77) b	1.35 (0.12) cd	54.00 (5.16) cd	282.59 (12.10) c	16.15 (0.47) a
		Otsuz	46.40 (2.81) c	1.90 (0.21) b	76.00 (8.64) b	499.68 (89.42) a	16.37 (0.29) a
	Gürbüz	Otlu	69.85(4.38) a	1.25 (0.05) d	50.00 (2.30) d	337.90 (21.81) c	11.91 (0.39) b
		Otsuz	59.07 (3.28) b	2.3 (0.21) a	92.00 (8.64) a	406.66 (15.31) b	12.00 (0.45) b
	Kudret	Otlu	69.92 (4.81) a	1.62 (0.18) bc	65.00 (7.57) bc	329.65 (25.32) c	11.55 (0.45) b
		Otsuz	60.42 (4.11) b	2.40 (0.37) a	96.00 (14.96) a	282.62 (23.14) c	11.85 (0.31) b
p			*	*	*	*	*
2019	Arslan	Otlu	37.82 (1.53) b	1.40 (0.23) d	56.00 (9.23) d	180.06 (6.83) d	11.37 (0.32) b
		Otsuz	38.50 (2.32) b	1.80 (0) c	72.00 (0) c	194.96 (5.75) c	12.20 (0.21) a
	Gürbüz	Otlu	44.67 (1.12) a	2.30 (0.21) b	92.00 (8.64) b	217.87 (7.12) ab	7.82 (0.49) c
		Otsuz	44.72 (1.40) a	3.25 (0.34) a	141.00 (13.61) a	224.25 (13.18) a	8.25 (0.31) c
	Kudret	Otlu	38.92 (0.95) b	0.87 (0.05) e	35.00 (2.00) e	185.23 (5.56) cd	6.60 (0.42) d
		Otsuz	43.80 (1.75) a	1.55 (0.12) cd	62.00 (5.16) cd	207.86 (7.64) b	8.60 (0.90) c
p			*	*	*	*	*

Varyasyon kaynakları

	Bitki boyu (cm)	Bitki başına tohum verimi (g)	Meyve verimi (kg/da)	Biyolojik Verim (g)	Bin tane ağırlığı (g)
Çeşit	*	*	*	*	*
Yıl	*	ös	ös	*	*
Çeşit×Yıl	*	*	*	*	*
CV(%)	5.66	11.25	11.25	10.55	4.04

(*) p<0.05. ös: önemsiz. Sonuçlar genel doğrusal model ile analiz edilmiştir. Parantez içindeki değerler standart hatayı (±) ifade etmektedir.

a, b, c, d, e Aynı sütundaki farklı harflere sahip ortalamalar arasındaki fark önemlidir (p < 0.05).

4. Sonuç

Yürütülen çalışmada kişniş (*Coriandrum sativum* L.) bitkisinin üç farklı çeşidinde yabancı otların periyodik elle yolma yöntemi ile uzaklaştırılması sağlanmıştır. Bu uygulamanın kişniş bitkisinin verim ve verim unsurları üzerine etkisinin önemli olduğu, yabancı ot rekabetinin bir veya daha fazla verim özelliğini baskılayarak kişniş verimini etkilediği belirlenmiştir. Çalışmanın ilk yılında en yüksek meyve verimi Gürbüz otsuz uygulamasından elde edilmiştir. Önemli bir verim unsuru olan biyolojik verim ise ilk yıl Arslan çeşidi otsuz uygulamasından, ikinci yıl ise Gürbüz otsuz uygulamasından elde edilmiştir. Bu bilgiler ışığında Gürbüz çeşidinin bölgede kişniş yetiştiriciliğinde çeşit olarak ön plana çıktığı söylenebilir.

5. Teşekkür

Çalışmanın her aşamasında verdiği destek için Prof. Dr. Murat TUNÇTÜRK'e (Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Böl.) ve istatistik analizlerde yardımları için Doç. Dr. Gazel SER'e (Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootehni Böl.) teşekkür ederiz.

Kaynakça

- Ayanoğlu, F., Mert A., Aslan, N., & Gürbüz, B., (2002). Seed yields, yields components and essential oil of selected coriander (*Coriandrium sativum* L.) lines, *Journal of Herbs, Spices and Medicinal Plants*. 9 (2), pp. 71-76.
- Baydar, H., (2013). Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Bilimi ve Teknolojisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi, Ziraat Fakültesi*. Isparta.
- Diederichse, A., (1996). Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops 3. coriander. *Institute of*

Plant Genetics and Crop Plant Research. Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute.

- Doğan, A., Bayrak, A., & Akgül, A., (1984). Türk kişnişlerinin uçucu yağ verimi ve uçucu yağların bileşenleri, *Ankara Üniv. Ziraat Fak. Yıllığı*: 34, 213-220.
- EPPO, (1986) Guidelines for the biological evaluation of herbicides. *European and Mediterranean Plant Protection Organization Bulletin* 16, 123-167.
- Kan, Y., & İpek, A., (2002). Seçilmiş bazı kişniş (*Coriandrum sativum* L.) hatlarının verim ve bazı özellikleri. *Bitkisel ilaç Hammaddeleri Toplantısı*, (s. 2-8). Eskişehir.
- Kaya, N., Yılmaz, G., & Telci, İ., (2000). Farklı zamanlarda ekilen kişniş (*Coriandrum sativum* L.) populasyonlarının agronomik ve teknolojik özellikleri. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* (24) 355-364
- Kırcı, S., (1999). Değişik yörelerden toplanan kişniş (*Coriandrum sativum* L.)'in bölgeye adaptasyonu ve uygun tohumluk miktarının belirlenmesi: Morfolojik özellikleri üzerine tohumluk miktarlarının etkisi. *Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*. 14 (1):33-40
- Kushwaha, H. S., Tripathi, M. L., & Singh, V. B., (2002). Weed management in coriander (*Coriandrum sativum*) In: Proc. Second Int. Agronomy Congr. on Balancing Food and Environ. Security: A Continuing Challenge, Singh, Panjab, I. P. S. Ahlawat and R. C. Gautam, (eds.). Indian Society of Agronomy, Indian Agricultural Research Institute, New Delhi. pp. 985-987.
- Meena, S. S., Mehta, R. S., Meena, R. D., Meena, R. L., & Sharma, D. K., (2014). Economic feasibility of weed management practices in nigella (*Nigella sativa* L.). *National research centre on seed spices*, 224-228.
- MGM, 2020. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü.

- Nagar, R. K., Meena, B. S., & Dadheech, R. S., (2009). Effect of Integrated Weed and Nutrient Management on Weed Density, Productivity and Economics of Coriander (*Coriandrum sativum*). *Indian Journal Weed Science*, 71-75.
- Panara, D. M., Mathukia, R. K., & Sagarka, B. K. (2015). Efficient Weed Management in Coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Agriculture: Towards a New Paradigm of Sustainability*, 48-51.
- Panchal, P.S., Snah, S.N., & Rahevar, H.D., (2014). Growth and Seed Yield of Coriander (*Coriandrum sativum* L.) as Influenced by Weed Management Practices. *Trends in Biosciences* 7 (23): 3995-3999,
- Sagarka, B. K., Ramani, B. B., Mathukia, R. K., & Khanpara, V. D., (2005). Integrated Weed Management in Coriander Department of Agronomy Junagadh Agricultural University, India 37, 23-233.
- SAS, (2014). SAS/STAT Software: Hangen and Enhanced, Version 9.4, SAS, Inst. Inc., Cary, N.C. USA.
- Solanki, K.K., (2008). Effect of weed control practices on growth and yield of coriander (*Coriandrum sativum* L.) in gird region of Madhya Pradesh (yüksek lisans tezi, basılmış). Department of Agronomy Jawaharlal Nehru Krishi Vishwa Vidyalaya, Jabalpur College of Agriculture.
- Tunçtürk, M., (2006). Kışniş (*Coriandrum sativum* L.) bitkisinde farklı tohumluk miktarlarının verim ve verim özellikleri ile uçucu yağ oranı üzerine etkisi. *Selçuk Üniversitesi. Ziraat Fakültesi Dergisi*. 20 (39): 58-62.
- Tunçtürk, R., (2011). Kışniş (*Coriandrum sativum* L.) çeşitlerinde değişik ekim mesafelerinin verim ve kalite üzerine etkisi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi tarım bilimleri dergisi*. 21 (2): 89-97
- Wanger, H., Blatt, S., & Zgainsk, E.M., (1992). *Plant Drug Analysis 'A thin Layer Chromatography Atlas'* (Translated Scott, T.A.). Dep. Of Biochemistry Univ. Of Leeds Gb.
- Yadav, S. S., Sharma, O. P., Kumawat, P. D., & Yadav, R. D., (2004). Effect of weed control and nitrogen on yield, nutrient removal and quality parameters of cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Journal of Spices and Aromatic Crops* 13: 22-27.



Doğru Akım Motorunun PID ile Hız Kontrolü ve Zorlamalı Yükler Altında Performans Analizi

Barış Gökçe¹, Yavuz Bahadır Koca^{2*}, Yılmaz Aslan³

¹ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6141-7625), bgokce@erbakan.edu.tr

^{2*} Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0317-1417), ybkoca@gmail.com

³ Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9798-1519), yilmaz.aslan@dpu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 28 Eylül 2020 ve Kabul Tarihi 31 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.799601)

ATIF/REFERENCE: Gökçe, B., Koca, Y. B., Aslan, Y. (2021). Doğru Akım Motorunun PID ile Hız Kontrolü ve Zorlamalı Yükler Altında Performans Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 549-554.

Öz

Bu makale, değişen zorlamalı yük koşulları altında bir doğru akım (DA) motor hızının kontrolünü sunmaktadır. Tork varyasyonlu DA motorunun lineer sistem modeli oransal, integral ve türev (proportional, integral and derivative-PID) kontrolörü kullanılarak tasarlanmıştır. DA motorun yüksüz, tam yükte ve zorlamalı yük koşulları altında sistem cevabını gözlemek için bir simülasyon programında analizi gerçekleştirilmiştir. İlk adımda yüksüz durumda gerçek hız ile referans hızın aşma probleminin üstesinden gelen ve kararlı durum hatasını ortadan kaldıran Ziegler-Nichols ayarlama yöntemi kullanılmıştır. Ardından, her bir kontrolörün parametre değerleri belirlenmiş ve daha sonra Matlab Simulink programıyla optimize edilmiştir. Bu çalışmada amaç değişken koşullarda meydana gelen zorlanmalarda motor hızını sabit tutmaktır. Bu kapsamda gerçek bir uygulamada kullanılmak üzere seçilmiş bir DA motoruna ait parametrelere göre simülasyon programında benzetim ortamı tasarlanmıştır. Analiz sonuçları, motor hızının tam yükün etkisi altında 650 milisaniyede yaklaşık 75 rpm (%2,5) için yavaşladığını göstermektedir. PID kontrolcüsünün, değişken yük koşulları altında arzu edilen motor hızını kontrol etmek için başarılı bir yöntem olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: DA Motor, PID Denetleyici, Değişken Yükler, Hız Kontrol Uygulaması

Speed Control of Direct Current Motor with PID and Performance Analysis under Forced Loads

Abstract

This article presents the control of a direct current (DC) motor speed under varying forced load conditions. The linear system model of torque variation DC motor is designed using a proportional, integral and derivative (PID) controller. In order to observe the system response of the DC motor under no-load, full-load and forced-load conditions, analysis was performed in a simulation program. In the first step, the Ziegler-Nichols adjustment method, which overcomes the problem of exceeding the actual speed and reference speed in no-load condition and eliminates the steady state error, is used. Next, the parameter values of each controller are determined and then optimized with the Matlab Simulink program. The aim of this study is to keep the motor speed constant in the strains occurring under variable conditions. In this context, a simulation is designed in a program according to the parameters of a selected DA motor to be used in a real application. Analysis results show that the motor speed slows down to approximately 75 rpm (2.5%) in 650 milliseconds under the effect of full load. It has been found that the PID controller is a successful method for controlling the desired motor speed under variable load conditions.

Keywords: DC Motor, PID Controller, Variable Loads, Speed Control Implementation

* Sorumlu Yazar: ybkoca@gmail.com

1. Giriş

Doğru akım (DA) motorlar son yıllarda endüstriyel kontrol uygulamalarında, ev cihazlarında ve robotik sistemler gibi çeşitli alanlarda sıklıkla kullanılmaktadırlar (Kaya ve Furat, 2020). Özellikle hızın geniş ölçüde değişmesini gerektiren endüstride ve diğer çeşitli uygulamalarda DA motorlarının kullanımı avantajlıdır (Chapman, 2005). Bu açıdan DA motorları, hız kontrolü açısından çok yönlü ve esnekler. Bunun yanısıra DA motor sürücülerinde de yüksek başlatma, hızlanma ve geciktirme torku, yüksek tepki performansı, hızlı frenleme ve daha kolay doğrusal kontrol gibi iyi özellikleri nedeniyle endüstriyel uygulamalarda tercih edilmektedirler (Dubey ve Srivastava, 2013). DA motorun yüksek başlangıç tork özelliği, çekiş uygulamaları açısından DA motorunu uygun bir seçenek haline getirmektedir. Aynı zamanda bu motorun avantajları kolay hız kontrolü ve ani bir yük değişimine karşı dayanıklı olmasıdır. Tüm bu özellikler onu ideal bir çekiş motoru yapmaktadır. Bu açıdan günümüzde kullanılan çeşitli elektrikli araç sistemlerinde de DA motorları tercih edilmektedir. Robotik sistemler, otonom araçlar, elektrikli çekiş ve diğer uygulamalar için kullanılırlar (Gökozan, 2020). Ayrıca DA motorlarında kullanılan sürücü sistemleri AA sürücü sistemlerine kıyasla daha basit ve daha az maliyetlidir. (Sen, 2007).

Günümüzde toplumların yaşamlarında kullanılan hemen hemen tüm elektrikli ve mekanik sistemlerde kontrol sistemleri vazgeçilmez bir unsur haline gelmiştir. Endüstriyel uygulamalarda ve araştırmalarda geri besleme kontrol döngüsü sistemin daha iyi performans göstermesi için gereklidir. Kullanılan bu sistemlerin daha hızlı dinamik bir tepki vermesi için, çeşitli geri besleme kontrol sistemlerinde birçok kontrol stratejisi geliştirilmiştir. Bir sürücü sistemindeki kontrolcü sisteminin en önemli fonksiyonu minimum aşma veya referans hızı ile aşma için hassas ve hızlı izlemeyi sağlayarak çok az veya ortadan kaldırılmış sabit durum hatasını içerir. Geleneksel orantı-integral-türev (PID) kontrolörleri, basit matematiksel modelleme, çalıştırma kolaylığı, iyi sağlamlık, yüksek güvenilirlik, stabilizasyon ve sabit durum hatasını ortadan kaldırma gibi özelliklerinden dolayı endüstriyel kontrol uygulamalarında çok popüler ve yaygın olarak kullanılmaktadır (Åström ve Hägglund, 1995). PID kontrolörü DA motorun istenen hız-tork karakteristiklerini elde etmek için kullanılır. Bununla birlikte, bu kontrolörlerin optimizasyonu ve ayarlanması, özellikle değişken yük koşulları, parametre değişiklikleri, anormal çalışma modları vb. altında çok zaman alıcı ve zordur. DA motorlar, ayarlanabilir hızlı makineler olarak kabul edilmektedirler (Khan ve ark., 2015).

Dışardan uyarımlı DA motor sürücüsü, hassas hız kontrolü, kontrol edilebilir torku, yüksek güvenilirliği ve basitliği nedeniyle uzun süre değişken hızlı uygulamalar için kullanılan en uygun seçenektir. Dışarıdan uyarımlı DA motorda, güç kaynağı doğrudan motorun alan sargısına bağlanır. Yaygın olarak kullanılan üç hız kontrol tekniği vardır. Bunlar, alan direnç kontrolü, armatür direnç kontrolü ve armatür gerilim kontrolü olarak adlandırılır. Armatür gerilim kontrol yönteminde alan akımı armatüre uygulanan sabit ve değişken gerilimi tutmaktadır. Bir armatür kontrollü DA sürücünün temel çalışma prensibi, ayrı olarak uyarılmış bir DA motorun hızının DA motorun uygulanan armatür gerilimiyle doğru orantılı olmasıdır. DA motor hızı, terminal gerilimlerinin doğru orantılı ayarlanmasıyla geniş bir aralıkta kontrol edilebilir.

Alhanjouri yaptığı çalışmada DC motor hızının performansını oransal, integral (PI) kontrolör ve yapay sinir ağları (YSA) yöntemiyle kontrol etmiş klasik PID sistemine karşı bazı üstünlükler ortaya koymuştur (Alhanjouri, 2017). Serrezuela ve arkadaşları yaptıkları çalışmada DC motorun hızını LabVIEW programı ve Bulanık Mantık (BM) yöntemi ile analiz etmişler ve yeni bir hız kontrolcüsü önermişlerdir. Yapılan çalışma motorun herhangi bir yük etkisi olmaksızın boşa çalışması durumuna göre değerlendirilmiştir. %3' lük bir iyileşme tespit ettiklerini öne sürmüşlerdir (Serrezuela ve ark., 2017). Çınar ve arkadaşları ise yaptıkları çalışmada LabVIEW programı ve Matlab/Simulink araç kutusu yardımıyla DC motorun hız kontrolünü gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları çalışmada motorun yüksüz ve bozucu etkiler olmaksızın başarılı sonuçlar elde ettiğini öne sürmüşlerdir. (Çınar ve ark., 2019). Tir ve arkadaşları ise çalışmalarında BM ile PID kontrolörü kullanarak DC motorun yüksüz ve bozucu etkiler olmaksızın hız kontrolünü gerçekleştirmişlerdir (Tir ve ark., 2017).

DC motor hızının performansına yönelik yapılan çalışmalarda PID kontrolcüsünün parametrelerini en iyilemeye yönelik farklı optimizasyon algoritmaları kullanılmıştır. Harris şahini algoritması (Ekinci ve ark., 2020), parçacık sürü optimizasyonu (PSO), (Ibrahim ve ark., 2015), genetik algoritma (GA), (Ibrahim ve ark., 2019), yapay arı kolonisi algoritması (YAKA), (Mishra ve ark., 2013) gibi çeşitli yöntemler PID parametrelerini optimize etmek için kullanılmıştır. Yapılan çalışmalarda genellikle DC motor performansı yüksüz veya bir zorlamalı yük olmaksızın analiz edilmiştir.

Bu çalışmanın ana odak noktası DA motor hızının çeşitli yüklemeye etkisi altında performansını korumasıdır. Armatür gerilim kontrol tekniği kullanılarak değişen yükler altında DA motor hız kontrolü prensibi sunulmuştur. Motor hızı sabit tutulmuş ve zorlayıcı yük değeri sıfırdan tepe torkuna kadar değiştirilmiştir. Değişken yük koşullarında motor hızının sabit tutulması, istenilen performans sağlamak için önemlidir. Bu yaklaşımı kullanarak, PID kontrolörü belirli anormal koşullarda değişen yük etkisine bağlı olarak motor hızında meydana gelen hız azalmalarını düzeltmek için kullanılır. PID kontrol şeması kullanılarak önerilen sistem modeli simülasyon yazılımları üzerinde tasarlanmış ve simülasyonlar gerçekleştirilmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Çalışmanın içeriği aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir. Bölüm 2'de DA motor modeli, PID kontrol sistemi ve önerilen model sunulmuştur. DC motor hız kontrolüne ilişkin elde edilen simülasyon sonuçları Bölüm 3'te verilmiştir. Çalışmaya ilişkin elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ise Bölüm 4'te sunulmuştur.

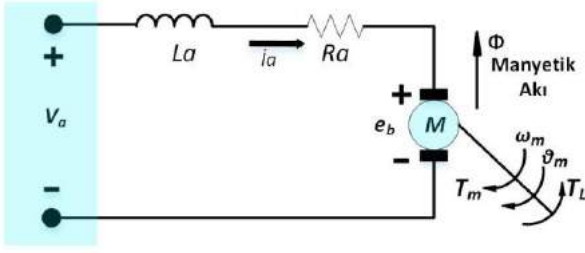
2. Materyal ve Metot

Bu bölümde, zorlamalı yük koşullarında DA motor sistem bileşenleri açıklanmaktadır. Bu bölüm iki alt başlıkta değerlendirilebilir. İlk bölümde DA motor hız kontrolünün dinamik modeli sunulmuştur. İkinci bölümde önerilen kontrollü sistem bir simülasyon platformunda simülasyonlar yapılarak değerlendirilmiştir.

2.1. DA Motor Dinamik Modeli

Bu bölümde, armatür kontrollü DA motorun kapalı çevrim hız kontrol sisteminin dinamik modeli sunulmaktadır. DA motora ait tasarım parametreleri, elektrikli engelli araçlarında

kullanılan 24V, 320W, 6.5A, 3500 rpm motorun değerleri kullanılarak yapılmıştır. Burada gösterileceği gibi, bir DA motorun matematiksel modeli doğrusaldır. Bir DA motoru temsil etmek için Şekil 1'deki eşdeğer devre şeması kullanılmıştır (Kuo ve Golnaraghi, 2003).



Şekil 1. DA motor modeli

DA motorun hız aralığı sıfırdan etiket hızına kadar olabilir. Bu performans çoğunlukla sabit tork koşulunda uygulanan değişken armatür gerilimi ile elde edilir. Giriş gerilimi, motorun armatür terminallerine uygulanır. Armatür kontrollü DA motorun, bir giriş gerilim kaynağı olarak uygulanan armatür gerilimi (V_a) ile motorun açılma yer değiştirmesi (θ) ile olan transfer fonksiyonu Eşitlik (1) ile verilmiştir.

$$\frac{\theta(s)}{V_a(s)} = \frac{K_m}{s[L_a \cdot J \cdot s^2 + (L_a \cdot B + R_a \cdot J) \cdot s + R_a \cdot B + K_m K_b]} \quad (1)$$

DA motoruna ait parametre değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

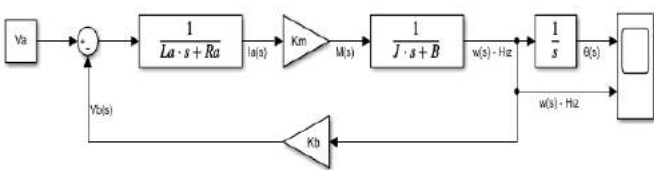
Tablo 1. DA Motor Parametreleri

Parametre	Değeri
V_a : Giriş gerilimi, (V)	24 V
R_a : Direnç, (Ω)	2.8 Ω
L_a : Bobin, (H)	0.0014 H
J : Atalet momenti, ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$)	0.072 $\text{kg} \cdot \text{m}^2$
B : Sürtünme katsayısı, ($\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$)	0.02 $\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$
K_m : Motor tork sabiti, (N.m/A)	1.24 N.m/A
K_b : Zıt EMK sabiti, (V.s/rad)	1.24 V.s/rad

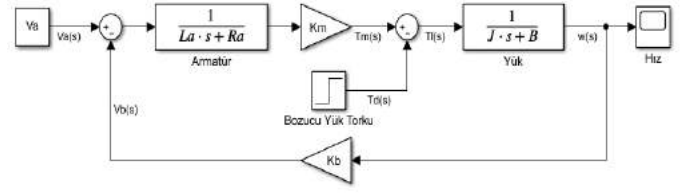
Açılma hız ile pozisyon arasındaki bağıntı kullanılarak, açılma hız ve armatür gerilimi arasındaki transfer fonksiyonu Eşitlik 2' de olduğu gibi yazılabilir.

$$\frac{\omega(s)}{V_a(s)} = \frac{K_m}{L_a \cdot J \cdot s^2 + (L_a \cdot B + R_a \cdot J) \cdot s + R_a \cdot B + K_m K_b} \quad (2)$$

Yük torku olmayan armatür kontrollü DA motorun blok şeması Şekil 2' de gösterilmiştir. Ayrıca armatür kontrollü DA motorun yük altında çalışmasına ilişkin hız ile transfer fonksiyonu blok diyagramı da Şekil 3'te gösterilmektedir.



Şekil 2. DA motoru blok şeması.

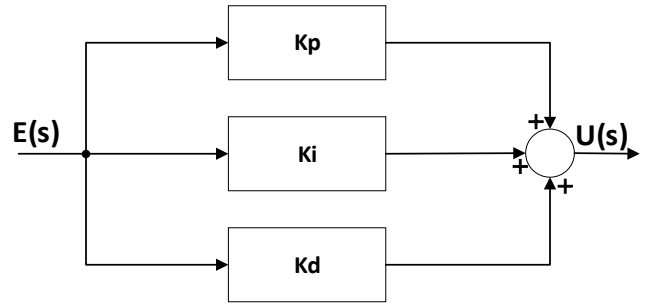


Şekil 3. DA motorun yük altında çalışmasına ilişkin blok şeması.

2.2. Oransal, İntegral, Türev (PID) Kontrol Sistemi

Oransal-integral-türev (PID) kontrol şeması, çeşitli kontrol uygulamaları için kontrol sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Tabak, 2020). PID kontrolörlerinde, istenen kontrol performansını elde etmek için üç parametreyi, yani orantılı kazanç (K_p), integral kazanç (K_i) ve türevsel kazanç (K_d) ayarlamamız gerekir. Bir PID kontrollü sistemin blok şeması Şekil 4 'de gösterilmektedir. PID kapalı kontrol döngüsü kontrolöründe, üç kontrolör P, I ve D'nin hepsi birbiriyle etkileşime giren farklı durumlara sahiptir, bu nedenle ayarlanması zaman alıcı ve zorlu bir görevdir.

PID kontrolcüsünün ayarlanması, kontrol sistemini belirli koşulları altında PID kontrolörünün düzgün çalışması için bu sistemin amacıdır. Ziegler-Nichols yöntemi, manuel ayarlama yöntemi ve hazır yazılımlar üzerinde otomatik ayarlama yöntemi gibi PID kontrol parametrelerini ayarlamak için kullanılan farklı ayarlama yöntemleri vardır. PID kontrolcüsü, sabit durum hatası olmayan, hızlı yanıt veren ve salınım içermeyen üstün kararlılığı olan dinamik kontrol sistemi için en iyi seçimdir.



Şekil 4. PID kontrolör sistem blok şeması.

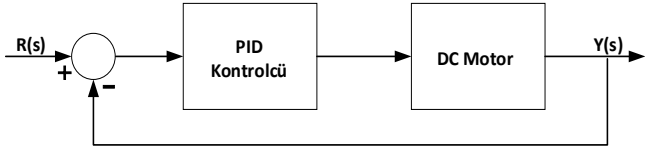
Giriş sinyali $e(t)$ ile çıkış sinyali $u(t)$ arasındaki ilişki aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$U(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \int_0^t e(t) \cdot dt + K_d \cdot \frac{de(t)}{dt} \quad (3)$$

Bu ifadenin transfer fonksiyonu ise aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$C(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d \cdot s = \frac{U(s)}{E(s)} \quad (4)$$

Buna göre DA motor hız kontrolü için PID kontrol sistemi blok şeması Şekil 5' teki gibi oluşturulur.



Şekil 5. PID kontrol sistemi blok şeması.

2.3. Önerilen Sistem

Bu bölümde, değişken yükler altında hız kontrolü için DA motor sisteminin önerilen modeli sunulmuştur. Önerilen kontrol sistemi, hız ve armatür akımı için bir kontrol döngülerinden oluşur. Bu kontrol sisteminde, hız-tork özelliklerinin istenen cevabı elde etmek ve değişen yüklerin etkileri altında motor hız kontrolü sorunlarının üstesinden gelmek için bir PID kontrolcüsü kullanılır. Gerçek motor hızı, motor için gerekli olan armatür akımı ile ölçülür. Motorun gerçek hızı, geri besleme kontrol döngüsü tarafından algılanır ve gerekli motorun referans armatür akımını belirlemek için bu hızı önceden ayarlanmış referans hız ile karşılaştırır. Önerilen sistem modelinin simülasyonu iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlkinde, gerçek hız, yüksüz olarak referans hız ile ayarlanır. İkinci aşamada ise, zorlayıcı yük altında DC motor referans hız sabit tutularak ayarlanır.

Bu çalışmada, yüksüz durumda gerçek hız ile referans hızın aşma probleminin üstesinden gelen ve kararlı durum hatasını ortadan kaldıran ilk adımda Ziegler-Nichols ayarlama yöntemi kullanılmıştır. Ziegler-Nichols ayarlama yöntemi kontrol uygulamalarında parametrelere ayarlamalarını çok pratik hale getirir (Dorf ve Bishop, 2017). Kapalı çevrim kavramlarını kullanarak Ziegler-Nichols PID kontrolcüsüne ilişkin ayar şeması Tablo 2' de verilmiştir. Buna göre, her bir kontrolöre ait parametre değerleri belirlenir. Ziegler Nichols yönteminin en önemli avantajı parametre ayarlama kuralının ince ayar için bir başlangıç noktası sağlamasıdır (Ogata, 2010). Bir sonraki adımda, Ziegler Nichols yükleme etkisi altında motor hızının yetersiz kalması sorununun üstesinden gelmek için Matlab/Simulink otomatik PID araç kutusu kullanılarak hassas ayarlama gerçekleştirilmiştir. Yük etkisi altındaki PID kontrolcülü DA motorunun blok diyagramı Şekil 6' da gösterilmektedir. PID kontrolör çıkışı DA motorun armatür terminallerine giriş gerilimi olarak uygulanır. PID kontrolör için nihai parametre değerleri, $K_p= 173$, $K_i= 1320$ ve $K_d= 1.94$ otomatik ayarlama yöntemi ile bulunmuştur.

Tablo 2. Ziegler Nichols ayar şeması.

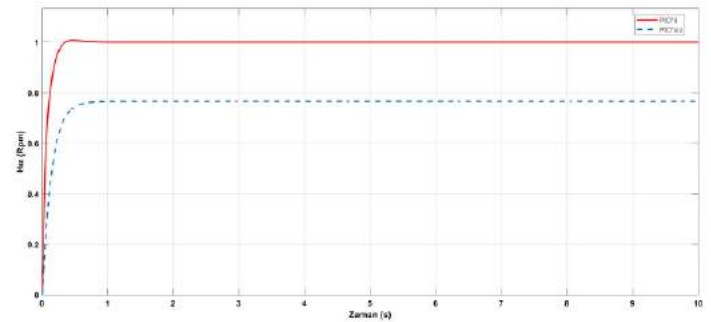
Kontrol Türü	K_p	T_i	T_d
P	$0,5 K_{pmax}$	-	-
PI	$0,45 K_{pmax}$	$0,825. P_u$	-
PID	$0,6 K_{pmax}$	$0,5. P_u$	$0,125. P_u$

2.4. Önceki Kontrol Sistemiyle Karşılaştırmalı Önerilen Sistem

Benzer konularda çok sayıda araştırma çalışması gerçekleştirilmiştir (Almatheel ve Abdelrahman, 2017; Chaudhary ve ark., 2017; Rai, 2012; Suman ve Giri, 2016). Ancak bu makalede sunulan hız kontrol tekniği yaklaşımı, daha önce sunulan ve yayınlanan diğer tüm tekniklerden farklıdır. Çünkü bu çalışmada PI, PID, Fuzzy ve PSO gibi kontrol şemalarından ayrı olarak DA motorun zorlamalı yük koşullarında hızının sabit tutulmasıyla hız regülasyonu için bir yöntem sunulmuştur. Bu yöntem, MATLAB/Simulink yazılımı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Sistemin kurulumu yapılarak DA motorun değişken yük altında hız regülasyonunun, hızın sabit tutulması ve bu görevi gerçekleştirmek için PID kontrol şemasının kullanılması halinde etkili bir şekilde kontrol elde edilip edilemeyeceği değerlendirilmiştir.

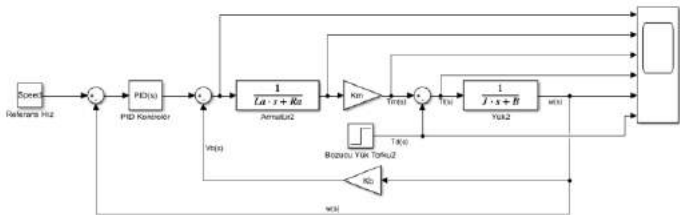
3. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

Bu bölümde, önerilen hız kontrol sistemi modelinin simülasyon sonuçları sunulmaktadır. Hıza bağlı olarak yük etkisi altında DA motor hız kontrolünün simülasyon sonuçları ile tork karakteristik eğrisi bu bölümde gösterilmektedir. Yüksüz DA motorunun PID kontrolcülü ve kontrolcüsüz adım cevabı Şekil 7' de sunulmuştur. Kontrolör olmaksızın gerçekleştirilen sistemde girişe 1V birim gerilim değeri uygulandığında çıkış gerilimi 0.76V değerine (son değer in %76' s) kadar ulaşmıştır. Yükselme süresi 0,57 saniye iken oturma süresi 1,1 saniyedir. Kararlı durum hatası, nihai değeri yaklaşık %90' dır. Bu çalışmanın bir sonraki adımında, istenen hıza ulaşmak için sistem modelinin mevcut blok diyagramında PID kontrolörü adapte edilmiştir. Kontrolcülü sistemde ise çıkış gerilimi istenilen 1V değerine ulaşır. Yükselme zamanı 0,17 saniye olarak gerçekleşmiş ve büyük ölçüde azaltılmıştır. PID kontrollü sistem için yerleşme zamanı ise 0,24 saniyedir. Ardından, sistem modeli PID kontrolcüsü olmadan tam yük koşuluyla test edilmiştir. PID kontrolcüsü için parametre değerleri, $K_p= 13.17$, $K_i= 34.79$ ve $K_d= 1.24$ olarak belirlenmiştir.



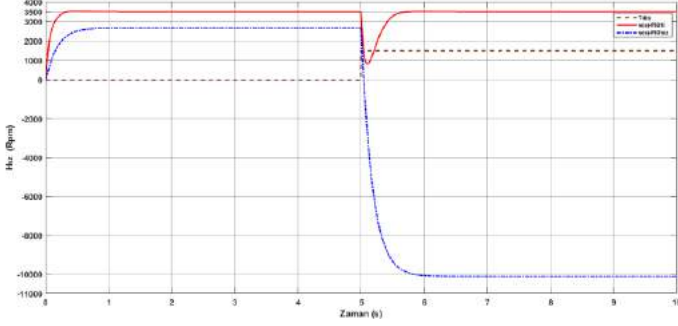
Şekil 7. Yüksüz DA motorunun PID kontrolcülü ve kontrolcüsüz adım cevabı

Zorlamalı yük altında DA motorunun PID kontrolcülü ve kontrolcüsüz hız cevabı Şekil 8' de gösterilmektedir. Hızın istenen 3500 rpm referans değere ulaşmadığı açıkça görülmektedir. Grafikten, zorlamalı yük torku 0' dan 1500 Nm'ye doğru değiştiğinde, çalışma hızının yaklaşık 11000 rpm altında yavaşladığı da gözlemlenmiştir. Daha sonra, bir kez daha PID kontrolörü, bozucu yük sistemin mevcut blok şemasında kullanılır. PID kontrolörü, yükün etkisi altında mevcut hız kontrol sorununu çözebilmek için sisteme uygulanır. PID



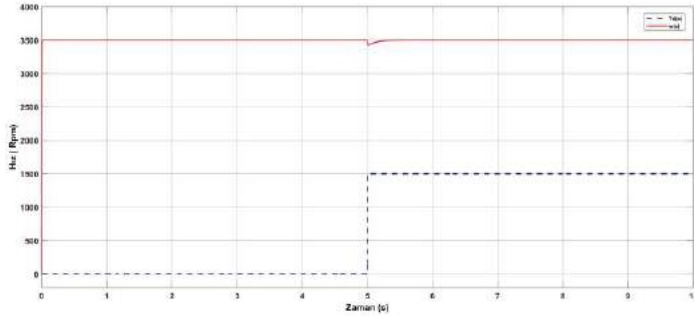
Şekil 6. Zorlayıcı yük etkisi altında PID kontrolcülü DA motorunun blok şeması.

kontrolörünün aynı parametre değerleri kullanılarak, sistemin tepkisi, sıfır yük torku ile istenen hız sürdürülebilirliğine göre daha iyi hale gelmektedir. Bununla birlikte, bu hız sürdürülebilirliği, yük torku 0'dan 1500 Nm'ye doğru değiştiğinde büyük ölçüde azalma gerçekleşmektedir. Zorlamalı yük altında DA motorun PID parametreleri $K_p= 2.3$, $K_i= 17.52$ ve $K_d= 0.075$ olarak elde edilmiştir.



Şekil 8. Zorlamalı yük altında DA motorun PID kontrolcülü ve kontrolcüsüz hız cevabı.

Sonuçta, sistemde en son olarak simülasyon programı otomatik PID araç kutusu kullanılarak ayarlanan PID kontrol sistemi kullanılmış olup, değişen yükün etkisi altında bir hız kontrolcüsü geliştirilmiştir. Zorlamalı yük koşuluna sistemin cevabı Şekil 9'da gösterilmektedir. Bu tepkilerden, motorun hızının tam yük etkisi altında 510 milisaniyede sadece 75 rpm (%2,5) kadar yavaşladığı görülmektedir.



Şekil 9. Zorlamalı yük altında ayarlanmış parametrelere göre PID kontrollü cevabı.

4. Sonuç

Bu çalışmada, zorlamalı yükler altında PID kontrolörü kullanarak ayrı olarak uyarılmış DA motor hız kontrol stratejisi sunulmuştur. DA motor modeli, yük etkisi altında motorun hızını kontrol etmek için PID kontrolör ile tasarlanmıştır. Motorun hızı sabit tutulmuştur ve çalışan sistemde aniden oluşan bir zorlayıcı yük torku uygulanarak sistemin stabilitesi sağlanmaya çalışılmıştır. Önerilen sistem verimli bir şekilde tasarlanmış ve test edilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre, PID denetleyicisinin, değişken zorlayıcı yük koşullarında DA motorun hız kontrolünü kontrol edebilen çok etkili ve güçlü bir denetleyici olduğu sonucuna varılmıştır. PID denetleyicisinin nihai parametre değerleri, simülasyon programı otomatik PID araç kutusu kullanılarak ayarlanmıştır. Önerilen sistemin simülasyon sonuçları, motorun hızını değişen zorlayıcı yük koşullarında kontrol etmek ve sürdürmek için PID kontrolörünün daha iyi kontrol yaklaşımına sahip olduğunu kanıtlamıştır.

Ayrıca, sonuçlar yük bozukluğunun etkileri altında PID tabanlı kapalı döngü hız kontrol sisteminin doğrulanmasını sağlamıştır. Hedeflenen sonuç, verilen uygun koşullar altında başarıyla elde edilir. Bununla birlikte, önerilen sistem tasarımının kontrol yönlerinde bazı iyileştirmeler yapılabilir.

Bu çalışmada, PID kontrolörü, sabit hızla çalışan DC motora zorlayıcı bir yük uygulanması halinde motorun hız kontrolünü en iyi şekilde gerçekleştirmesini sağlar. PID denetleyicisinin nihai parametre değerleri, giriş parametrelerinin değişkenlik durumuna göre bazı sezgisel yöntemlerle eş zamanlı olarak ayarlanabilir. Yükün etkisi altında giriş hızına referansla motorun etkin bir şekilde hız kontrolü için ileriye dönük geliştirmede PID kontrolörünün adaptif bir yaklaşımı kullanılabilir.

Kaynakça

- Alhanjouri, M. A. (2017). Speed control of DC motor using artificial neural network. *Speed Control of DC Motor Using Artificial Neural Network*, 7(3).
- Almatheel, Y. A., & Abdelrahman, A. (2017). Speed control of DC motor using Fuzzy Logic Controller. *Proceedings - 2017 International Conference on Communication, Control, Computing and Electronics Engineering, ICCCCCE 2017*. <https://doi.org/10.1109/ICCCCE.2017.7867673>
- Angel, M., & Cardozo, T. (2017). Design and Implementation of A PID Fuzzy Control for the Speed of a DC Motor. *12(8)*, 2655–2660.
- Åström, K. J., & Hägglund, T. (1995). *PID controllers: theory, design, and tuning (Vol. 2)*. Instrument society of America Research Triangle Park, NC.
- Chapman, S. (2005). *Electric machinery fundamentals*. Tata McGraw-Hill Education.
- Chaudhary, H., Khatoun, S., & Singh, R. (2017). ANFIS based speed control of DC motor. *2nd IEEE International Conference on Innovative Applications of Computational Intelligence on Power, Energy and Controls with Their Impact on Humanity, CIPECH 2016*, 63–67. <https://doi.org/10.1109/CIPECH.2016.7918738>
- Çınar, S. M., Balcı, Z., & Yabanova, İ. (2019). Performing Speed Control of a DC Motor with Auto-Tuning PID. *19*, 690–696. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.593609>
- Dorf, R. C., & Bishop, R. H. (2017). *Modern control systems*, Global Edition. Pearson.
- Dubey, S., & Srivastava, K. (2013). A PID Controlled Real Time Analysis of DC Motor. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, 1(8), 1965–1973.
- Ekinci, S., Izci, D., & Hekimoğlu, B. (2020, June). PID Speed Control of DC Motor Using Harris Hawks Optimization Algorithm. In *2020 International Conference on Electrical, Communication, and Computer Engineering (ICECCE)* (pp. 1-6). IEEE.
- Gökozan, H. (2020). Elektrikli Araçlarda Kullanılan Motorlar ve Motor Sürücüler. *European Journal of Science and Technology*, 19, 105–111. <https://doi.org/10.31590/ejosat.699699>
- Ibrahim, H. E. A., Hassan, F. N., & Shomer, A. O. (2014). Optimal PID control of a brushless DC motor using PSO and BF techniques. *Ain Shams Engineering Journal*, 5(2), 391-398.
- Ibrahim, M. A., Mahmood, A. K., & Sultan, N. S. (2019). Optimal PID controller of a brushless DC motor using

- genetic algorithm. *Int J Pow Elec & Dri Syst* ISSN, 2088(8694), 8694.
- Kaya, R., & Furat, M. (2020). Three - Channel Cost Function Based Artificial Bee Colony Algorithm for PID Tuning. *European Journal of Science and Technology*, April, 382–392. <https://doi.org/10.31590/ejosat.aracon50>
- Khan, M. R., Khan, A. A., & Ghazali, U. (2015). Speed control of DC motor under varying load using PID controller. *International Journal of Engineering (IJE)*, 9(3), 38–48.
- Kuo, B.C., & Golnaraghi, F. (2003). *Automatic Control Systems*. Englewood cliffs.
- Mishra, A. K., Tiwari, V. K., Kumar, R., & Verma, T. (2013, December). Speed control of DC motor using artificial bee colony optimization technique. In *2013 International Conference on Control, Automation, Robotics and Embedded Systems (CARE)* (pp. 1-6). IEEE.
- Ogata, K. (2010). *Modern control engineering*. Prentice hall.
- Rai, J. N. (2012). Speed Control of Dc Motor Using Fuzzy Logic Technique. *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 3(6), 41–48. <https://doi.org/10.9790/1676-0364148>
- Sen, P. C. (2007). *Principles of electric machines and power electronics*. John Wiley & Sons.
- Suman, S. K., & Giri, V. K. (2016). Speed control of DC motor using optimization techniques based PID Controller. *Proceedings of 2nd IEEE International Conference on Engineering and Technology, ICETECH 2016*, March, 581–587. <https://doi.org/10.1109/ICETECH.2016.7569318>
- Tabak, A. (2020). Fırçasız Doğru Akım Motorlarının Hız Kontrolünü Gerçekleştirmek İçin PID/PD Kontrolcü Tasarımı ve Performans İncelemesi. *European Journal of Science and Technology*, 19, 145–155. <https://doi.org/10.31590/ejosat.707004>
- Tir, Z., Oued, E., & Oued, E. (2017). Implementation of a Fuzzy Logic Speed Controller For a Permanent Magnet DC Motor Using a Low- Cost Arduino Platform. 29–32.



İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisleri için Mikro Hidroelektrik Santrali ve LED Aydınlatma Uygulanabilirliği ile Enerji Verimliliği: Gaziantep Örneği

Mustafa Mikail Özçiloğlu^{1*}, Bayram Durmuş²

^{1*} Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kilis, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6775-9092), mozciloglu@kilis.edu.tr

² Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kilis, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3482-3545), bayramdurmus2@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 8 Ekim 2020 ve Kabul Tarihi 31 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.807643)

ATIF/REFERENCE: Özçiloğlu, M.M., Durmuş, B. (2021). İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisleri için Mikro Hidroelektrik Santrali ve LED Aydınlatma Uygulanabilirliği ile Enerji Verimliliği: Gaziantep Örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 555-560.

Öz

Canlılar için her daim bir yaşam kaynağı olan suya, ihtiyaç giderek artmaktadır. Bu yaşam kaynağının sonsuz olmaması ve gün geçtikçe azalması nedeniyle bazı tedbirler alınması gerekmektedir. Atıksu arıtma tesisleri de bu amaçla kurulmuştur. Bu tesisler kullanılan suyun tekrardan tarım için elverişli hale getirildiği birimlerdir. Şehir merkezlerinde bulunan bu tesislere yüksek debi miktarına sahip su giriş çıkışı olmaktadır. Bu çalışmada arıtma tesisi çıkış noktasında bulunan parshall savağı üzerine yapılacak olan bir mikro hidroelektrik santralinden elde edilebilecek elektrik enerjisi, toplanan veriler ve teorik hesaplamalar sonucu bulunmuştur. Ayrıca enerji verimliliğini artırmak adına tesis içerisinde bulunan 132 adet yol aydınlatma armatürünün LED dönüşümü için gerekli çalışmalar yapılmış ve tasarruf edilecek toplam elektrik enerjisi miktarı bulunmuştur. Neticede tesisin aylık elektrik sarfiyatının %14,6'sının mikro hidroelektrik santrali ile geri kazanılabileceği ve %0,52'sinin ise LED armatür değişimi ile geri kazanılabileceği elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atıksu arıtma, Enerji verimliliği, Mikro hidroelektrik santrali, LED aydınlatma.

The Energy Efficiency by Application of Micro Hydroelectric Plant And LED Lighting for Advanced Biological Waste Water Treatment Plant: Gaziantep Example

Abstract

The demand of water which is always a source of life for living things has increased. Due to water is not infinite and decreasing, some precautions must be taken. Therefore waste water treatment plants have been established for this aim. In this plants, waste waters are treated and converted to suitable form for agriculture, industry, etc. High quantities of flowrate of waters enter and come out from these plants which has been established in city centres. In the study, the potential of electricity generation of micro hydroelectric plant which is to be established has been obtained by using collected data and theoretical calculations. Furthermore, in order to increase the energy efficiency, required studies were carried out to convert the 132 pieces road lighting armatures to LED lighting, thus the quantity of electricity energy which is to be saved was calculated. As a result of this study it is observed that electricity consumption of waste water treatment plant of 14,6% could recovered by micro hydroelectric plant and 0,52% could recovered by conversion the LED armatures.

Keywords: Treatment of wastewater, Energy efficiency, Micro hydroelectric power plant, LED lighting.

* Sorumlu Yazar: mozciloglu@kilis.edu.tr

1. Giriş

İlk yerleşim zamanlarında insan toplulukları daha az kişilerden oluşmaktaydı. Bu az sayıdaki insanlar ise genellikle temiz su kaynaklarının bulunduğu akarsu ve nehir gibi suya erişimin yakın olduğu yerlerde yaşardı. Toplulukların az kişilerden oluşması, temiz su kaynaklarına yakın erişimde hayatlarına devam etmeleri ve doğanın atıkları yok etmesi gücü ile atıklarını çok uzaklara gönderme ve atıktan kurtulma gibi bir düşünceleri yoktu. Fakat insanlar ne zaman ki tam düzenli bir yerleşik hayata geçmeye başladı bununla beraber bazı çevresel sorunlarda ortaya çıktı. Bunların başında ise atıkların giderilmesi gibi büyük bir sorun vardı.

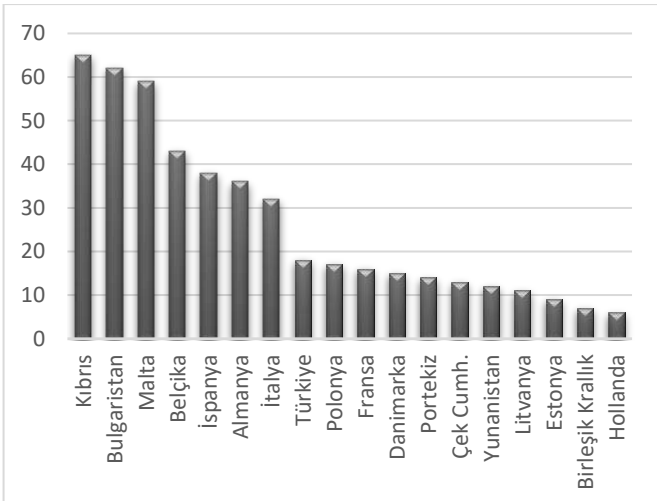
İnsanların yerleşik düzene geçmeleri ile kentlerde oluşan yoğunluk giderek arttı. Artan yoğunluklar neticesinde temiz suya ulaşım ve atıkların bertaraf edilmesi giderek zorlaştı. Bunun bir sonucu olarak ise su mühendisliğine yönelim arttı ve insanlar bu alanda kendini geliştirmeye başladı.

İngiltere’de 19. Yüzyılın ortalarında atık suların kirletilmesi yasaklandı ve bu konu ile ilgilenmesi için bir komisyon kuruldu. 1861 yılına gelindiğinde ise atık sularda arıtma yapılması konusunda bir yasa çıkartıldı ve bu tarih atık su arıtma sistemlerinin geliştirilmesinde bir dönüm noktası oldu.

Günümüzde ise birçok şehir merkezinde insan atıkları için biyolojik atık su arıtma tesisleri, sanayi atıkları için endüstriyel atık su arıtma tesisleri ve şehir dışında bulunan kırsal bölgelerde ise doğal ve paket arıtma sistemleri faaliyetlerini sürdürmektedir.

Avrupa, dünyanın diğer bölgelerine kıyasla geniş su kaynaklarına sahiptir ve su uzun süredir tükenmez bir kamu malı olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte Avrupa ülkeleri, son yıllarda hem su kıtlığı hem de su kalitesinin bozulması açısından artan su stresi ile karşı karşıya kalmıştır.

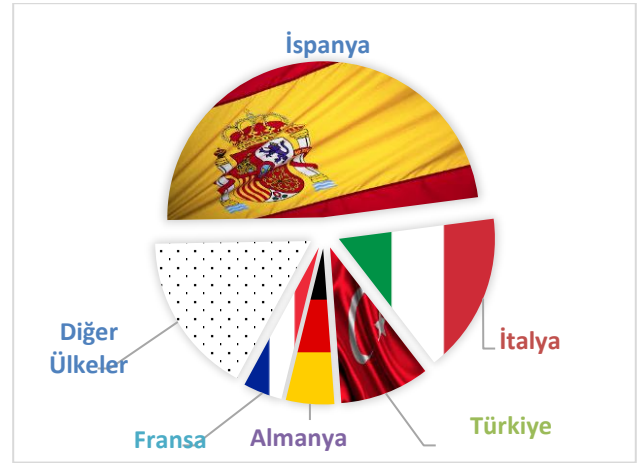
Dünya nüfusunun yaklaşık %70’ini oluşturan Avrupa ülkelerinin %50’ye yakını su stresi altındadır. Avrupa’daki su stresi endeksi verilerinin, ülkeler bazındaki oranı Şekil-1’de verilmiştir. Su stresi endeksi %10’dan az olan ülkelerin iyi durumda olduğu, %10 ile %20 arasında olan ülkelerin su kullanımı konusunda tedbirli olması gerektiği, %20’nin üzerinde bulunan ülkelerin ise su kullanımı ve su kaynakları üzerinde tedbir almalarının artık zorunlu olduğuna işaret etmektedir.(Wintgens et al., 2006)



Şekil 1. Avrupa Ülkelerinin Su Stresi Endeksi

Tüketilmiş suyun yeniden kullanılması birçok belediye için gerekli ve güvenilir bir su temini seçeneğidir. 2025 yılı için Avrupa ülkelerindeki suyun yeniden kullanım potansiyeli bazı parametreler ve denklemler kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen verilerde, çoğu Avrupa ülkesi için atık suyun yeniden kullanım potansiyelinin yüksek olduğu görülmektedir.

Avrupa ülkeleri içerisinde İspanya, 1.213 Mm³/yıl ile en yüksek yeniden kullanım potansiyeli sıfatıyla birinci sırada yer alırken, İtalya 418 Mm³/yıl ile ikinci, Türkiye 234 Mm³/yıl ile üçüncü sıraya yerleşmiştir. 2025 yılı için Avrupa ülkelerinde elde edilecek toplam atık suyun yeniden kullanım potansiyelinin ülkeler bazındaki payı Şekil-2’de verilmiştir. Genel bir tahmin olarak 2,516 Mm³/yıl atık suyun yeniden kullanım potansiyeli olduğu öngörülmektedir.



Şekil 2. 2025 Yılı Öngörülen Atıksu Potansiyeli

Kocaman (2020), yapmış olduğu çalışmada kapalı bir otoparkta bulunan 2x36 W floresan tip armatürlerin yeni nesil LED armatürler ile değiştirilmesi sonucu bir yılda 23.757,12 kWh enerji tasarrufu sağlanacağını belirlemiştir. Ayrıca çalışmada LED armatürlerin ilk yatırım maliyetleri de ele alınmış olup toplamda 1.83 yıl içerisinde yapılan tasarruf ile ilk yatırım maliyetinin amorti edildiği sonucuna ulaşmıştır. Demir vd. (2020), yapmış oldukları çalışmada üniversite içerisinde bulunan bir fakülte binasındaki mevcut armatürlerin LED armatürler ile değiştirilmesi sonucu 10 yılda 2.050.391,44 ₺ tasarruf elde edileceğini belirlemiştir. Ayrıca çalışmada mevcut armatürlerin LED armatürler ile değiştirilmesi sonucu oluşacak maliyetin analizi de yapılmış olup 1.42 yıl içerisinde oluşacak maliyetin, sağlanan tasarruf ile amorti edileceği sonucuna ulaşmıştır. (KOCAMAN, 2020) (Demir et al., 2020)

Baran (2020), yapmış olduğu çalışmada düşü yüksekliğinin 15 metre olmasında atıksu arıtma tesislerine yapılacak olan mikro ölçekli hidroelektrik santrallerinde üretilen enerji ile tüm mesken abonelerinin %0,267 ile %0,298 arasındaki bir değerde enerji ihtiyacının bu tesislerden karşılanacağını belirlemiştir. Yine düşü yüksekliğinin 30 metre olması durumunda ise tüm mesken abonelerinin %0,535 ile %0,596 arasındaki bir değerde enerji ihtiyacının bu tesislerden karşılanacağını belirlemiştir. Ayrıca 2024 yılı için 15 metre düşü yüksekliğine sahip olduğunda 84.554 adet, 30 metre düşü yüksekliğine sahip olduğunda ise 169.104 adet meskenin enerji ihtiyacının atıksu arıtma tesislerine yapılacak olan mikro ölçekli hidroelektrik santralleri ile sağlanabileceği sonucuna ulaşmıştır.(BARAN, 2020)

2. Materyal ve Metot

Yerleşim merkezlerinde bulunan ileri biyolojik atıksu arıtma tesislerinin giriş merkezlerinde yüksek debide atıksu bulunmaktadır. Arıtma işlemlerinden geçen bu atıksu, tesis çıkış noktasında bulunan parshall savağına katı atıklardan arındırılmış, sadece sıvı modunda gelmektedir. Bu nedenle parshall savağı üzerine bir mikro hidroelektrik santrali kurulumu planlanmış ve tesis içerisinde elde edilen veriler ile yapılan teorik hesaplamalar sonucu elde edilebilecek elektrik enerjisi miktarı bulunmuş ve bu miktarın tesisin aylık sarfiyatına oranı hesaplanmıştır.

Enerji verimliliğini arttırmak adına tesis içerisinde bulunan 132 adet yüksek basınçlı sodyum buharlı yol aydınlatma armatürünün LED armatür dönüşümü planlaması yapılmış ve neticede LED armatür dönüşümünde tasarruf edilecek elektrik enerjisi miktarı bulunmuş ve bu miktarın tesisin aylık sarfiyatına oranı hesaplanmıştır.

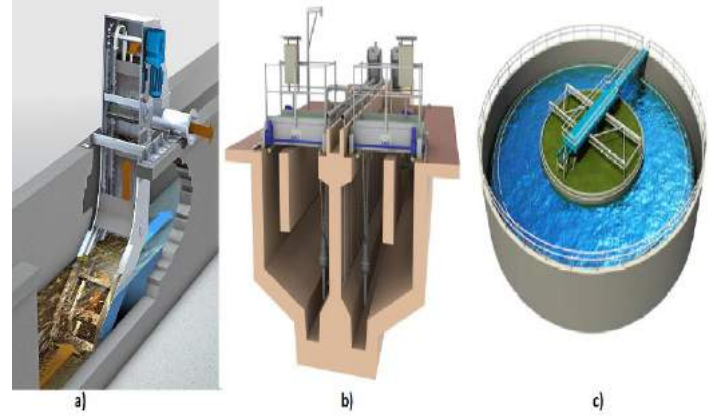
2.1. Atık Su Arıtma Tesisleri

Atık sular insanların yaşam alanlarında kullandıkları temiz suların sonucu olarak meydana gelirler. İçerisinde organik ve inorganik maddeler bulunan atık suların %99'u saf sudur. İnsanlar tarafından oluşturulan bu sular dünya üzerindeki tüm canlılar için bir tehdittir. Bundan dolayı kurulan atıksu arıtma tesisleri ile bu sular temizlenerek dünya üzerinde yaşamını sürdüren canlılar için oluşabilecek tehlikeleri ortadan kaldırmak hedeflenmektedir.

Arıtma sistemleri genel olarak doğal arıtma, fiziksel arıtma, biyolojik arıtma, ileri biyolojik arıtma ve kimyasal arıtma olarak tanımlanabilir. Aynı zamanda bu arıtma sistemlerinin kanalizasyon şebekesi olmayan yerlere kurulan paket arıtma üniteli sistemleri de mevcuttur.

Doğal arıtma yöntemi, şehir merkezlerine uzak birimlerde bulunan kırsal bölgelerde enerji maliyetsiz olarak faaliyet gösteren bir arıtma biçimidir. Fiziksel arıtma, arıtma tesisi su giriş ünitesine en yakın olan kaba ızgara, ince ızgara, kum yağ tutucu ve ön çökeltim havuzları gibi ünitelerden oluşmaktadır. Burada kaba ve ince ızgaradaki amaç, tesise giren su da bulunan büyük ölçekli cisimleri tutarak pompa, motor vb. ekipmanların içerisine girerek onlara zarar vermesini önlemektir. Kaba ve ince ızgaradan geçen su daha sonra kum yağ tutucu ünitesine gelir. Burada kaba ve ince ızgarada tutulamayan daha küçük parçacıklı kum, çakıl vb. maddeler ünite yapısı gereği havuz dibine çöker ve bir pompa yardımıyla bu maddeler atık sudan ayrıştırılmış olur. Ayrıca kum yağ tutucu ünitesi üzerinde bir de sıyrıcı kol bulunmaktadır, bu kol yardımıyla su yüzeyinde biriken yağ da ayrıştırılmış olur. Bu aşamaları tamamlayan atık su ön çökeltim havuzlarına gelir. Burada havuz yapısı gereği suda bulunan çamur dibine çöker ve yüzeyde bulunan su havalandırma havuzlarına aktarılır. Havalandırma havuzlarına gelen su için biyolojik ve ileri biyolojik arıtma devreye girmiş olur bu prosesleri tamamlayan su çıkışa verilir. Kimyasal arıtma yöntemleri ise daha çok endüstriyel tesislerin bulunduğu sanayi bölgelerinde kullanılır.

Kaba ve ince ızgara genel görünümü ile ızgara işlevini anlatan görsel Şekil 3a'da, kum yağ tutucu ünite ve havuz yapısı görünümü Şekil 3b'de ve ön çökeltim havuzlarının yapısına ait görünüm Şekil 3c'de görülmektedir.



Şekil 3. a)Kaba/İnce Izgara b)Kum-Yağ Tutucu Ünitesi c)Ön Çökeltim Havuzu

Kanalizasyon altyapısı olmayan ve atık su deşajında sorun yaşayan işletmeler için paket atıksu arıtma üniteleri oluşturulmuştur. Bu ünitelerdeki amaç kanalizasyon altyapısı bulunmayan veya şehir dışında olan fabrikalar, dinlenme tesisleri, kamp alanları ve tatil köyleri gibi işletmelerin atıksu deşaj problemlerinin önüne geçmektir. 400 kişi eşdeğerinde ve 80 m³/gün kapasiteye sahip bir paket atıksu arıtma ünitesinde yapılan bir çalışma ile paket atıksu arıtma tesisi çıkışındaki suyun tarımsal sulama alanlarında kullanıma uygun olduğu görülmüştür. (Topaç & Acar, 2020) Bu durum ise arıtma işlemini tamamlanmış olan suyun deşaj problemini minimum düzeye indirmekte ve en yakın tarım alanlarında suyun değerlendirilmesine olanak tanımaktadır.

2.2. İnceleme ve Araştırma Yapılan Tesis

Gaziantep merkez ileri biyolojik atıksu arıtma tesisi içerisinde inceleme ve araştırma çalışmaları yapılmıştır. Bu tesis Gaziantep ilinin, Şahinbey ilçesi sınırlarında ve Sacır deresi yakınında bulunmaktadır.

İncelenen tesis ileri biyolojik arıtma proseslerinin uygulandığı, azot ve fosfor gideriminin yapıldığı bir tesistir. Tesisin kapasitesi 200.000 m³/gün olup tesise anlık debi girişi ise 7.000-8.500 m³/h arasındadır. Bu yaklaşık olarak günlük 1.000.000 kişinin üretebileceği bir atıksu kapasitesidir. İncelenen tesis iki farklı etapta oluşmakta olup, 1. Etapta biyolojik arıtma prosesleri uygulanırken, 2. Etapta azot ve fosfor gideriminin de yapıldığı ileri biyolojik arıtma prosesleri uygulanmaktadır. Tesisdeki inceleme ve araştırma çalışmaları 2. Etap üzerinden yapılmıştır. Gaziantep ilinin ve Gaziantep ileri biyolojik atıksu arıtma tesisinin konumu Şekil 4'de görülmektedir.



Şekil 4. Gaziantep İli ve Gaziantep Merkez İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesis

2.3. Hidroelektrik Santralleri

Hidroelektrik santralleri yüksekten gelen suyun bünyesinde barındırdığı potansiyel enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerin bulunduğu merkezlerdir. Bu santrallerde üretilebilecek enerji miktarını etki eden iki temel unsur düşü ve debi miktarıdır. Düşü ne kadar yüksek ve debi ne kadar fazla ise suda bulunan potansiyel enerji miktarı o kadar fazla olur. Burada yüksekten gelen ve belirli bir potansiyel enerjiyi bünyesinde barındıran su, türbin kanatlarına çarparak üzerinde bulunan potansiyel enerjiyi kinetik enerjiye çevirir. Daha sonra ise türbin ile bağlantılı olan jeneratör yardımıyla bu kinetik enerji elektrik enerjisine dönüşmektedir.

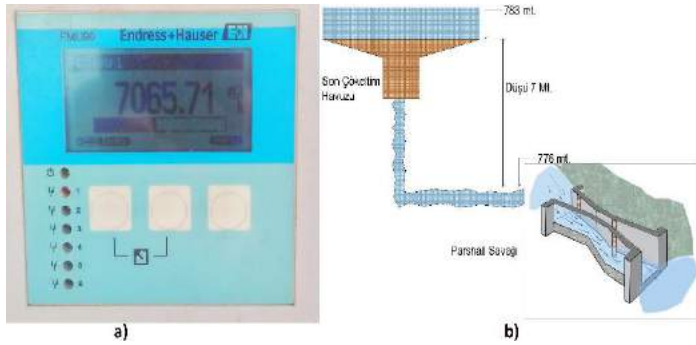
Hidroelektrik santrallerinin düşü ve debi miktarına göre mikro(küçük) HES olanı ve binlerce MW enerji üretimi kapasitesine sahip olanları da vardır. Mikro hidroelektrik santralleri kavramı genel olarak 100 KW altında enerji üretimi yapılan tesisler için kullanılır.(Erkan et al., 2018) Genel olarak hidroelektrik santralleri su tutma yapısı, su alma yapısı, cebri borular, türbin, jeneratör, transformatör ve bazı diğer ünitelerden oluşmaktadır.

Biyolojik ve ileri biyolojik arıtma proseslerini tamamlayan atıksu, son çökeltim havuzuna gelir. Burada temizlenerek savaklanan su, bir sonraki nokta olan parshall savağına geçer ve buradan tesis çıkışında bulunan dereye verilir. Parshall savağı üzerinde kurulumu tasarlanacak olan mikro hidroelektrik santrallerinde üretilebilecek enerji teorik olarak (1) numaralı denklem ile hesaplayacaktır. (Mohibullah et al., 2004)

$$P_{net} = e_o \times \rho \times Q \times g \times h \quad (1)$$

Burada bulunan e_o verimi, ρ sudaki yoğunluğu (997 kg/m^3), Q parshall savağında geçmekte olan suyun debi miktarını (m^3/s), g yer çekimi ivmesini ($9,81 \text{ m/s}^2$), h ise son çökeltim havuzu ile parshall savağı arasında bulunan yüksekliği ifade etmektedir.

Tasarlanacak olan mikro ölçekli hidroelektrik santralinde banki tipi türbin kullanımı planlanmış olup, yapılan araştırmalar sonucu bu türbinlerdeki verimin %68 olduğu görülmüştür.(KOÇ, 2019) Denklemde ihtiyacımız olan Q parshall savağındaki suyun debisi, suyun gün sonu ortalama değerine en yakın olan öğle saatlerinde alınmış ve bu Şekil 5’de görülmektedir.



Şekil 5. a)Tesis Çıkış Suyu Debimetre Göstergesi b) Son Çökeltim Havuzu ve Parshall Savağı Kot Farkı

Burada değer m^3/h formunda görünmekte olup, m^3/s formuna çevrildiğinde $1,96 \text{ m}^3/\text{s}$ elde edilmektedir. İhtiyacımız olan diğer bir veri ise h , son çökeltim havuzu ile parshall savağı arasındaki farktır. Bu ise yapılan ölçümler sonucu ortaya çıkmış ve 7 metre olarak kabul edilmiştir. Denklem (1)’in birimi $\text{kg.m}^2/\text{s}^3$ olmaktadır ve Watt olarak ifade edilecektir. Elimizdeki verileri (1) nolu denklemde yerine yazarsak;

$$P_{net} = 0.68 \times 997 \times 1.96 \times 9.81 \times 7 \quad (2)$$

$$P_{net} = 91.248,81 \text{ Watt} \quad (3)$$

Verimi %68 kabul ettiğimizde 1 m^3 suyun 1 metre yükseklikten düşmesi sonucu $6,65 \text{ kW}$ enerji elde edilecektir. Bu tesis için elde edilen veriler (2) numaralı denklemde yerine yazılmış ve teorik hesaplamalar sonucu (3) numaralı denklemde bulunan sonuca ulaşılmıştır. Burada parshall savağı üzerine tasarlanacak olan bir mikro hidroelektrik santralinin enerji potansiyelinin $91,25 \text{ kW}$ olacağı görülmektedir.

2.4. LED Aydınlatma

İnsanlık tarih boyunca hep aydınlık ortamlarda yaşamayı tercih etmiştir. Gece ve karanlık ortamları aydınlatma isteği ile önce ateşi kullanan insanlar daha sonraları mum ve ilerleyen zamanlarda elektrik ve akkor telli lambanın bulunmasıyla sürekli ve rahat bir aydınlatma biçimine kavuşmuştur. Daha sonra enerji tasarrufu üzerine yapılan çalışmalar ile önce floresan lambaların icadı gerçekleşmiş ve sonrasında ise günümüzde en verimli olarak kullanılan LED teknolojiye armatürler üretilmiştir.

Uluslararası Enerji Ajansının açıklamış olduğu verilere göre Dünya üzerinde kullanılan elektrik enerjisinin yaklaşık $1/5$ 'i aydınlatma için kullanılmaktadır. LED armatürlerin diğer aydınlatma türlerine oranla daha verimli olması, kullanım ömrünün daha fazla olması, ışık kalitesinin daha iyi olması ve floresan armatürlerde bulunan zararlı civa malzemesinin LED aydınlatma sistemlerinde kullanılmaması gibi etkenlerden dolayı bu aydınlatma türüne yönelim her geçen gün daha fazla artmaktadır. (Aydemir, 2019)

Dünyanın her yerinde özel işletmeler, belediyeler ve enerji kuruluşları yol aydınlatmaları için harcanan enerji miktarını düşürerek enerji tasarrufu sağlama çabasıdadır. Bunun için ise günümüz teknolojisinin zirvesi olan LED aydınlatma sistemi kullanılmalıdır.

2018 yılı içinde yayımlanan Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı’na dâhil edilen LED aydınlatma dönüşümü ile 2023 yılına kadar ülkemizde bulunan yol aydınlatma armatürünün %30’unun LED armatürlere dönüştürülmesi planlanmaktadır. Yani ülkemizde bulunan $7,5$ milyon armatürün $2,25$ milyonunun dönüştürülmesi planlanmaktadır. (Yılmaz et al., 2019)

İnceleme yapılan tesisimiz olan Gaziantep merkez ileri biyolojik atıksu arıtma tesisinde toplamda 66 adet yol aydınlatma armatürü ve bu yol aydınlatma armatürleri içerisinde 132 adet 150 W yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba bulunmaktadır. Yüksek basınçlı sodyum buharlı armatürler üzerinde yapılan çalışma sonucu 3 farklı markanın ürün özellikler Tablo 1’de verilmiştir. Markalar arasında değişken maliyet ve fiyatlar olduğu için aşağıda kullanılan tablolarda marka ismi yerine marka numarası verilerek tablolar oluşturulmuştur.

Tablo 1. Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Armatür Bilgileri

Ürün	Güç (W)	Işık Akısı (Lm)	Kullanım Ömrü (h)	Etkinlik Fak. (Lm/W)
1 Nolu Marka	150	11.000	28.500	73
2 Nolu Marka	150	14.000	24.000	93
3 Nolu Marka	150	12.000	27.000	80

Tablo 1’de bulunan değerlere göre yüksek basınçlı sodyum buharlı armatürlerin kullanım ömrü ortalama değer olan 26.500 saat, etkinlik faktörü ise yine ortalama değer olan 82 Lm/W kabul edilmiştir. LED yol aydınlatma armatürleri üzerinde yapılan çalışma sonucu elde edilen 3 farklı markanın ürün özellikleri Tablo 2’te verilmiştir.

Tablo 2. LED Armatür Bilgileri

Ürün	Güç (W)	Işık Akısı (Lm)	Kullanım Ömrü (h)	Etkinlik Fak. (Lm/W)
1 Nolu Marka	120	17.500	<100.000	142
2 Nolu Marka	100	12.500	<100.000	125
3 Nolu Marka	120	14.000	<100.000	123

Tablo 2’te bulunan değerlere göre ise LED yol aydınlatma armatürlerinin ortalama gücü 113 W, ortalama ömrü 100.000 saat, etkinlik faktörü ise 130 Lm/W olarak kabul edilmiştir. Yapılan çalışmada Gaziantep ilinin yıllık ortalama güneşlenme süresi 8 saat 9 dakika ve güneş almama süresinin ise 15 saat 51 dakika olduğu görülmektedir.(AYDIN, 2020) Enerji birim fiyatı ise TEDAŞ güncel birim fiyatı baz alınarak dağıtım bedeli dahil 0,66 TL kabul edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda ise tesis içerisinde bulunan 132 adet yüksek basınçlı sodyum buharlı armatürün, LED armatür ile değiştirilmesi sonucu elde edilecek enerji tasarrufu belirlenmiştir. Bu değerler Tablo 3’de görülmektedir.

Tablo 3. Yüksek basınçlı sodyum buharı armatür ve LED armatür kıyaslanması

Ürün	Etkinlik Faktörü (Lm/W)	Kullanım Ömrü (Yıl)	132 Armatür için Aylık Tüketim (kWh)
YBSB Armatür	82	6,03	9.415
LED Armatür	132	22,76	7.093

4. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Parshall savağı üzerine kurulacak olan bir mikro hidroelektrik santrali ile tesis elektrik enerjisi tüketiminin %14,6’ünün geri kazanabileceği saptanmıştır. Bulunan bu veriler Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. Mikro HES ile üretilecek enerjinin, tüketime oranı

Tesis	Tesisin Enerji Potans. (W)	Tesisin Elektrik Enerjisi Potans. (kWh/ay)	Tesisin Elektrik Tüketimi (kWh/ay)	Üretimin Tüketim Miktarına Oranı (%)
GASKİ AAT	91.250	65.700	450.000	14.6

Tesis içerisinde bulunan 132 adet yüksek basınçlı sodyum buharlı yol aydınlatma armatürünün, LED armatürler ile değiştirilmesi sonucu elde edilebilecek enerji kazanımı %0,52 olduğu saptanmıştır.

Genel olarak bakıldığında %0,52 oranının düşük olduğu göze çarpmaktadır fakat günlük 200.000 m³ atıksu arıtımı yapılan ve aylık sarfiyatı 450.000 kWh olan büyük bir tesis için sadece 132 armatür değişimi ile elde edilebilecek bu enerji kazanımının oldukça değerli olduğu düşünülmektedir. LED aydınlatma dönüşümünün, elektrik enerjisi kazancı 2.322 kWh civarında olmaktadır. Bulunan bu veriler Tablo 5’da verilmiştir.

Tablo 5. LED armatür dönüşümü ile elde edilecek enerjinin, tüketime oranı

YBSB Arm. Aylık Tük. (kWh)	LED Arm. Aylık Tük. (kWh)	Enerji Kazancı (kWh)	Tesisin Aylık Elektrik Tük. (kWh)	Kazanç/ Tüketim Oranı (%)
9.145	7.093	2.322	450.000	0.52

4. Sonuç

Bu çalışma kapsamında, saha gözlemlerinde toplanan veriler ve teorik hesaplamalar ile sonuç verileri elde edilmiştir. Burada toplanan saha verileri ve teorik hesaplamalar ile bulunan sonuçlar neticesinde olumlu sonuçlara ulaşılmış ve saha ile iklim şartlarında yani uygulamada sağlayacağı kazancın araştırılmasına bizi yönlendirmiştir. Teorik hesaplamaların en önemli avantajı, herhangi bir maliyet oluşturmadan yapılacak işlemlerin sonucunu yaklaşık olarak ortaya çıkarmasıdır.

Gaziantep merkez ileri biyolojik atıksu arıtma tesisinin temiz su çıkışı olan parshall savağı üzerine kurulacak olan bir mikro ölçekli hidroelektrik santralının aylık olarak 65.700 kWh elektrik enerjisi elde edeceği ve bunun tesis tüketiminin %14,6’ü olduğu saptanmıştır. Ayrıca tesis için maddi kazancın ise 43.350 TL olacağı belirlenmiştir.

Tesis içerisinde bulunan 132 adet yüksek basınçlı sodyum buharlı yol aydınlatma armatürünün ise piyasa araştırması ile bulunan LED armatürlerle değiştirilmesinden aylık olarak 2.322 kWh elektrik enerjisi elde edileceği ve bu elde edilen enerjinin tesis tüketiminin %0,52’si olduğu saptanmıştır. Yüksek basınçlı sodyum buharlı armatürlerin, LED armatürler ile değişiminden aylık olarak 1.500 TL maddi kazanç elde edileceği tespit edilmiştir.

Yapılan çalışma neticesinde, Gaziantep merkez ileri biyolojik atıksu arıtma tesisi parshall savağı bölgesine bir adet mikro ölçekli hidroelektrik santrali kurulumu ve yol aydınlatmada kullanılan 132 adet yüksek basınçlı sodyum buharlı armatürlerin LED armatürler ile değişimi sonucunda tesis enerji tüketiminin %15,12’sinin geri kazanılabileceği ve bu kazanımın maddi değerinin ise 44.850 TL olacağı belirlenmiştir.

Kaynakça

- Aydemir, F. (2019). Internet of Things Based Parking Lot LED Lighting System. European Journal of Science and Technology, 17, 71–76.
- Aydın, M. (2020). Türkiye Koşullarında Güneş Panelleri için Optimum Sabit ve Ayarlanabilir Eğim Açılarının Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Baran, B. (2020). Atıksu Arıtma Tesislerinden Elde Edilen

- Hidroelektrik Üretiminin Türkiye Mesken Elektrik Talebini Karşılama Oranı. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 8(1), 139–145.
- Demir, H., Çıracı, G., Kaya, R., & Ünver, Ü. (2020). Aydınlatmada Enerji Verimliliği: Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Durum Değerlendirmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 25(3), 1637–1652.
- Erkan, D., Yılmaz, T., Yücel, A., Yılmaz, A., Tel, A., & Uçar, D. (2018). Atıksu Arıtma Tesislerinde Enerji Kazanımı için Mikro Ölçekte Hidroelektrik Santrallerin Uygulanabilirliği. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 02, 20–25.
- Koç, F. (2019). Banki Tipi Türbinlerde Debiye ve Kanat Açısına Bağlı Performansın Deneysel Araştırılması. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Kocaman, B. (2020). Kapalı Otopark Aydınlatmasında Floresan ve LED Lambanın Enerji Verimliliği Açısından Karşılaştırılması. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(3), 1640–1648.
- Mohibullah, Radzi, M. A. M., & Hakim, M. I. A. (2004). Basic Design Aspects of Micro Hydro Power Plant and its Potential Development in Malaysia. *National Power and Energy Conference, (PECon)*, 220–223.
- Topaç, F. O., & Acar, Ö. Ö. (2020). Paket Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Sularının Sulama Suyu Olarak Kullanılabilirliğinin Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 19, 858–865.
- Wintgens, T., Bixio, D., Thoeye, C., Jeffrey, P., Hochstrat, R., & Melin, T. (2006). Reclamation and Reuse of Municipal Wastewater in Europe. *Aquarec*.
- Yılmaz, E., Erden, O., & Yunus, N. (2019). Sokak Aydınlatması Dönüşümü Fayda Maliyet Analizi Üzerine Bir Mühendislik Ekonomisi Çalışması. *5(3)*, 280–289.



Evaluating Eco-Cities With A Sustainable Perspective In Human-Nature Interaction

Özlem Candan Hergül^{1*}, Parisa Göker²

¹ Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, Bilecik/Türkiye (ORCID: 0000-0001-7140-0149), ozlem.hergul@bilecik.edu.tr

² Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, Bilecik/Türkiye (ORCID: 0000-0001-8876-2621), parisa.goker@bilecik.edu.tr

(First received 5 November 2020 and in final form 12 January 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.822062)

ATIF/REFERENCE: Hergül, Ö. C. & Göker, P. (2020). Evaluating Eco-Cities With A Sustainable Perspective In Human-Nature Interaction. *European Journal of Science and Technology*, (21), 561-567.

Abstract

The development of technology and industry, along with the human pressure on ecosystems, is growing and, as a result of rapid population growth, the natural environment is increasingly disappearing and losing renewable power. With the rapid structural developments in urban areas, the green areas are largely left to heavy development in the urban system. Increased use of water in urban areas, despite the reduction of soil to drain rainwater, often leads to an improvement in the composition of the city's waste water infrastructure networks as a result of extensive restructuring. In addition to these issues, air pollution is one of the city's fundamental problems. Multi-storey buildings, which grow exponentially in number every day, are known to prevent air circulation in urban areas and cause air to warm up due to pollution. This leads to global warming, another major environmental concern. To avoid this, the most important thing is to protect green areas in urban areas and to establish alternative applications for green areas. The main research materials are ecological planning, the design of ecological structures, green structures and studies related to the design of sustainable and environmentally friendly structures. This, on the other hand, leads to global warming, which is another major environmental concern. To avoid this, the most important thing to do is to protect green areas in urban areas, along with establishing alternative applications for green areas. The main research materials are ecological planning, the design of ecological structures, green structures and studies related to the design of sustainable and environmentally friendly structures. Within the framework of the study, applications for vegetation of structural surfaces carried out at national and international level and findings such as visual content, projects, etc. have been reviewed. The aim of this approach is to provide a sustainable human settlement where living organisms and natural ecosystems can continue their functions.

Keywords: Eco-city, green cities, sustainability, urban design

Eko Kentleri İnsan Doğa Etkileşimi İçerisinde Sürdürülebilir Bir Bakış Açısıyla Değerlendirmek

Öz

Teknoloji ve endüstrinin gelişmesiyle birlikte, hızlı nüfus artışının bir sonucu olarak ekosistemdeki insan baskısı artmış ve doğal çevreler yok olmaya ve yenilenebilir gücünü kaybetmeye yüz tutmuştur. Kentsel alanlardaki hızlı yapısal değişimler, yeşil alanların azalmasına ve geri planda kalmasına sebep olmuştur. Yoğun yapılaşma sonucu yağmur suyunu drene edecek toprak miktarının azalmasına karşın, kentsel alanda su kullanımının artması, kentin atık su altyapı ağlarının gelişiminde olumlu bir dönüşüm sağlar. Bu sorunlara ek olarak, hava kirliliği kentlerin temel problemleri arasındadır. Sayı olarak her geçen gün artan çok katlı yapılar kentsel alanlarda hava akımını engelleyerek hava kirliliğine bağlı bir ısınmaya nedne olmaktadır. Bu da bir başka önemli çevresel sorun olan küresel ısınmaya yol açar. Böyle durumlardan kaçınmak için yapılacak en önemli uygulama, kentsel yeşil alanları korumak ve yeşil alanlara yönelik farklı uygulamaların yapılmasına olanak tanımadır. Çalışmaya ilişkin temel araştırma materyali; ekolojik planlama, ekolojik yapıların tasarımı, yeşil yapılar ile sürdürülebilir ve çevre dostu yapıların tasarımına ilişkin çalışmalardır. Çalışma kapsamında ulusal ve uluslararası düzeyde yapısal yüzeylerin bitki örtüsü uygulamaları ile görsel içerik, proje vb. bulgular incelenmiştir. Bu yaklaşımın amacı, canlı organizmaların ve doğal ekosistemlerin işlevlerini sürdürebilecekleri sürdürülebilir bir insan yerleşimi sağlamaktır.

Anahtar kelimeler: Eko kent, yeşil kentler, sürdürülebilirlik, kentsel tasarım

* Corresponding Author: ozlem.hergul@bilecik.edu.tr

1. Introduction

Eco-city planning is putting the emphasis on the environmental aspects of planning while sustainable planning treats equally the economic, social and environmental aspects. Eco-city planning and management are based on the principle of a cyclical urban metabolism, minimizing the use of land, energy and materials, and impairment of the natural environment, ultimately leading to zero carbon settlements.

Before discussing the reasons of bi-directional deterioration within the urban-nature relation, it is deemed more suitable to go around the subject within a general perspective and through cause and effect relation. Economical stratification and development through industrial, commercial and educational opportunities increasing in certain regions, along with the presence of urban spaces with which social and cultural are provided with related service, made these regions rather more inviting for people. In addition to these, the cities, where the technological developments are accepted within a shorter period of time and where reconciliation is more prevalent, have entered into a process of growing, end of which cannot be foreseen due to the swift increasing of population (Çetinkaya 2012). Moreover, the cities are now the main reason of the such environmental problems as pollution, solid waste, noise, high-rates of energy consumption, carbon dioxide emission (Tosun 2017). It is a quite demanding process, which can be defined as transforming urban planning from its current unsustainable forms and trends. Not only need to change the urban form, transportation systems and water, waste and energy technologies, but to represent a sustainability agenda, the value systems and underlying mechanisms of urban governance and planning need to be reformed accordingly (Kenworthy 2006). This problems initiate the emergence of new perspectives in planning, design, finance, urban infrastructure, business and services in cities (Soydan and Benliay 2020). A quasi-utopian approach to the city as a laboratory, as an empty and enclosed container, is primarily related to the emphasis on cities as experimental locations where the new technologies, structures, and environmental-economic reforms are subjected to a testing process. This approach makes the city's physical environment a single site of action, while also conceptualizing the city as a vessel of restricted socio-economic, environmental and technical relationships. (Caprotti 2014). Rather than establishing our life style and built environment all over again for achieving ecologic design and sustainability, we need to shape them by taking as examples the natural eco-systems generated by plant, animal and microorganism communities sustaining their lives naturally. Human beings have to design their life style, business world, economy, physical structures and technologies without tumbling their life sustaining ability in the nature's core in order to survive. Living creatures in the nature survive by evolving as in constant interaction with other life forms (humans and other species). Ecologic sustainability does not mean that nothing in the nature

goes through changes and it is not a static circumstance, on the contrary, it is a dynamic process where species evolve together (Göker, Tuna, 2017).

2. The Concept of Eco-City

The concept of ecology was first used by German biologist Ernst Haeckel in 1866. The Haeckel ecology word is derived from the Greek word *oikos* and *logia*, which means science or discourse. According to Haeckel, the teachings of ecology or the undisturbed functioning of nature are a science of nature, dealing with the possibility that complex interplay of complex interactions takes place among all the organisms that share the same region of the earth (Cantzen, 1994). The concept of eco-city has emerged as a result of the quest for cities' sustainability and efforts. It is a city design and implementation approach in which people, cities and the environment are treated in interaction and interaction with each other. The word (eco-city) was originally the book of Richard Register's 'Eco city Berkeley: Building Cities for a Healthy Future' published in 1987. Eco city; is a human settlement that provides the residents with a good quality of life while using minimal natural resources. (Rezafar, 2011). The principles that bring the ecological urbanization approach to the forefront are as follows: the cities are a part of the world of nature; the cities are living areas; the cities are ecosystems; the urban ecosystem has a dynamic structure; each city possesses a deep and permanent content; urban design is a tool in the adaptation of people into nature. These basic propositions generate the ecological approach principles in the design of cities. (Tosun 2017). An Ecocity is recognized as a human settlement, which is modelled on the self-sustaining durable structure and operation of natural ecosystems, according to Ecocity Builders and the International Ecocity Framework & Standards (IEFS) (2010). Without consuming more (renewable) energy than it produces, without creating more waste than it can assimilate and without being harmful to itself or surrounding habitats, the eco-city provides its residents with balanced abundance. The ecological effect of its inhabitants reflects planetary supporting lifestyles; its social order reflects universal values of fairness, justice and equal equity. (URL 1, 2020)

Founded in 1992 and gathering many related organizations under a single roof, the International Ecocity Framework and Standards (IEFS)" document, released by "Eco City Builders" scaled the cities from those that are unhealthy to the gaia cities, which claim the world to be a living organism. According to this, the life in the world is named as "gaia", stating that the lands are the bones of gaia; the oceans, seas and rivers are the circulation system; the atmosphere is the respiratory system; and the living creatures are the nervous system, the scaling towards gaia cities are the extremum point targeted to be achieved. Respectively, these scale cities are as follows: unhealthy cities, green cities, ecocities and gaia cities. The cities are classified under these categories pursuant to certain standards and criteria (Işıldar 2012).

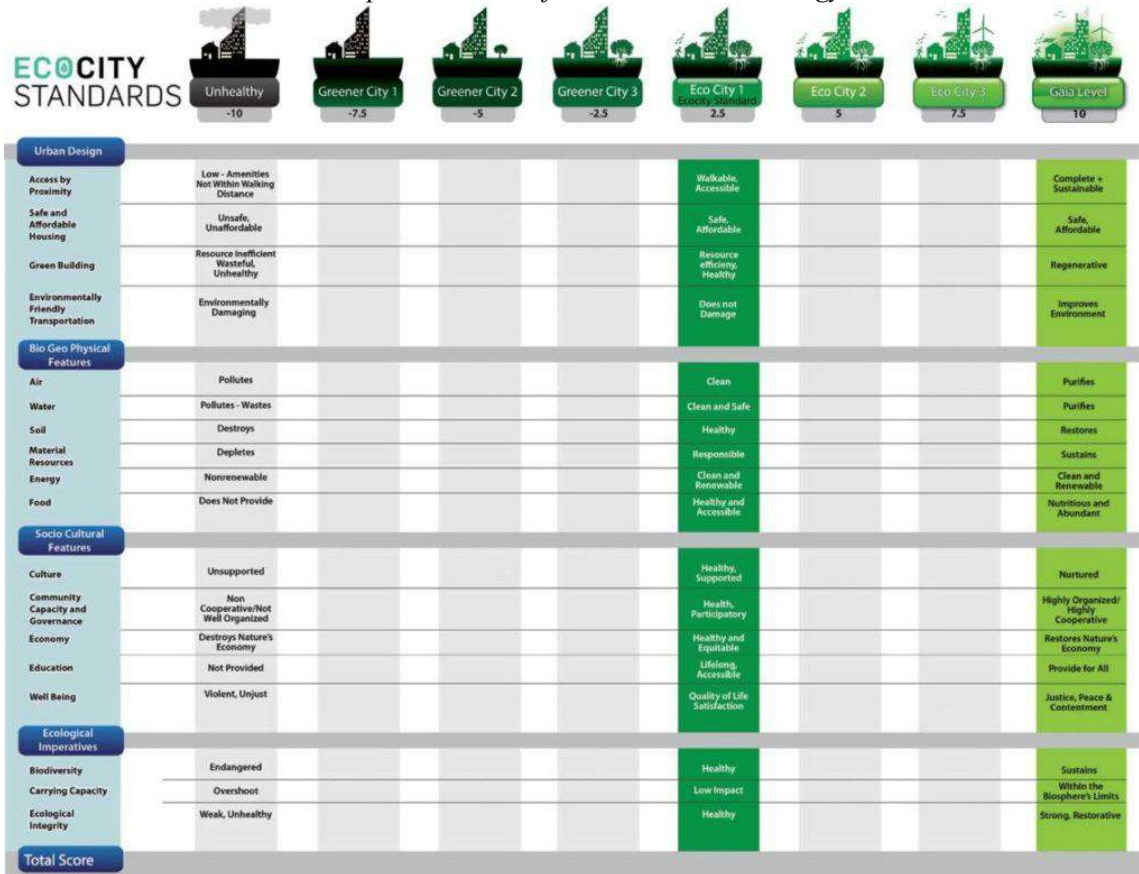


Figure 1. Levels and standards for Cities (URL-1)

Within the scope of the eco-city project supported by the European Union Framework funds, criteria for eco-cities and indicators to measure these criteria have been developed. A total

of 20 basic criteria and 34 indicators were determined (Baalawi, 2016).

Table 1. Basic Criteria of Eco-Cities (Baalawi, 2016)

	CRITERIA	INDICATORS
SCOPE	Location	<ul style="list-style-type: none"> Urban infrastructure (current potential and accessibility to basic needs). The affordability of the demand for land (the amount of idle area, green space and urban area in the area to be planned).
URBAN TEXTURE	Building Density	<ul style="list-style-type: none"> Area density
	Multiple Use	<ul style="list-style-type: none"> The ratio of residential to non-residential area in the total area. Access to basic amenities: School, playground, grocery store, butcher, etc., leisure areas.
	Public Spaces	<ul style="list-style-type: none"> Its size and quality
	Landscape area (accessibility and surface quality)	<ul style="list-style-type: none"> Accessibility to green areas (number of people living near green areas). Ecological quality of outdoor areas (trees, water environments, lawn areas, etc.).
TRANSPORTATION	Transport infrastructure	<ul style="list-style-type: none"> Reducing private vehicle traffic. Length of highways / working population. Bicycle paths / working population.
	Close to public transport	<ul style="list-style-type: none"> Access to public transportation within a 300-meter radius or being within 150 meters of stops.

	Noise	<ul style="list-style-type: none"> • The amount of noise exposed during the day and night. • The number of people exposed to noise that exceeds limits.
	Parking areas	<ul style="list-style-type: none"> • Comparison of transportation with private cars and public transportation.
ENERGY FLOW	Energy requirement	<ul style="list-style-type: none"> • Maximum energy requirement for heating, cooling and other purposes.
	Energy efficiency	<ul style="list-style-type: none"> • The amount of solar energy used. • Thermal insulation.
	Greenhouse gas emissions	<ul style="list-style-type: none"> • Share of renewable energy sources. • Contribution to global warming (CO₂eq / non-renewable energy production / MWh).
MATERIAL CYCLE	Construction materials	<ul style="list-style-type: none"> • Minimum use of materials, use of renewable, recyclable and local materials.
	Soil movement	
	Water Management	<ul style="list-style-type: none"> • Measures to minimize water use.
SOCIO-ECONOMIC INDICATORS	Social infrastructure	<ul style="list-style-type: none"> • Social infrastructure index-social diversity and integration.
	Economic infrastructure	<ul style="list-style-type: none"> • Economic infrastructure index.
	Labor issues	<ul style="list-style-type: none"> • Job and unemployment rates.
	Affordability	<ul style="list-style-type: none"> • Benefit cost analysis.
PROCESSES	Holistic Planning	<ul style="list-style-type: none"> • Multidisciplinary planning team. • Analysis of different scenarios.
	Public participation	<ul style="list-style-type: none"> • Indices that measure public participation in processes and the quality of participation.

3. Discussion

People adapts to the world he lives in two ways, biological and cultural. Biological adaptation occurs with changes caused by environmental conditions; cultural harmony takes place outside the body / body in contrast to biological harmony, and strengthens human inadequate biocompatibility in the face of changing environmental conditions. Mankind realizes this by its ability to learn, store, accumulate and interpret. Nature is humanized through culture, rules are set; so that nature is classified and transformed. This harmonization process, which has been made to the natural environment of man, has brought its relations with nature to a different position than other living things. Other creatures depend on natural laws against nature; but people are able to put some limits on natural laws and make changes. These limits and changes are diversifying and developing with differentiation by scientific and technological activities. It is natural that every living creature, like human has to propose measures to protect itself (Aydm, 2013).

The production-consumption pattern, organization and functioning of industrial society are the main sources of urban and environmental problems. The activities between production and

consumption processes make the relationship between ecology and economy multi-faceted. In the process from production to consumption, the first energy input does not correspond to the last energy output, so the conversion of wastes or a lower utilization increases the imbalances within the ecological cycle. At this stage, it has emerged that the viable healthy cities of the future can be realized by the eco-city planning model, which is designed with environmental consciousness, economy, ecology, energy and technology integrity and balanced. Ecological urban thought has a special precaution in today's environmentally oriented new ecological approaches. These approaches emphasize the importance of environmental awareness and argue that economic stability must be balanced with nature. This process, rather than branding the space, is a quality that socializes and historicises nature. Therefore, the legal and managerial structure of environmental problems should be dealt with in a historical approach, and the human-environmental unity and economy-ecology balance should be devised by being associated with cultural values. (Meydan Yıldız, 2016).

3.1. Environmental Problems in the Cities Depended on the Destruction of Ecological Cycles in the World

3.1.1 Air pollution

Air is part of a system that interacts with each other. All living things have a role in the formation of the atmosphere. Any change in the atmosphere affects the whole life. Two main reasons for air pollution are industrialization and urbanization. Urbanization is a phenomenon that brings together and increases population density. Air pollution caused by urbanization is also due to population density as well as the settlement of the city in a manner unsuitable for topographical and meteorological conditions. Transportation vehicles such as private cars, taxis and buses which are used in urban transportation lead to air pollution with exhaust gases. Air pollution causes problems in this context as it has effects on human health, nature, climates, animal and plant communities and on the way. It also leads to global problems such as greenhouse effect and slimming of the ozone layer. All major cities in the world are heavily influenced by air pollution. In Western Europe, air pollution is the most important environmental problem. Previously only acid rain in some parts of Europe and North America and the cross-border transport of air pollution have been increasingly observed in Asia-Pacific and Latin America (Meydan Yıldız, 2016).

3.1.2 Water pollution

Water pollution is an important environmental problem, especially for cities. Water pollution, in general, is a phenomenon that emerges as the result of human intervention in the hydrological cycle, which is called natural circulation of water in the earth's surface. The deterioration of the natural water is the basis for its impairment in other words that leads to pollution. In the contamination of water resources, industrial wastes, inadequate sewerage system, leaking out of municipal landfill by accumulation under the ground, and all kinds of urban pollution carried by the sellers and all kinds of agricultural materials carried by the sellers constitute the main sources. The settlements, together with agricultural and industrial activities, are the main causes of water pollution.

Domestic wastes cause chemical, physiological and biological pollution in the water they mix. If hospital wastes, which are considered as hazardous wastes, are mixed with domestic wastes without being subjected to a separate treatment, urban wastes also become toxic and radioactive wastes.

3.1.3 Soil pollution

In the most general sense soil contamination is the change and deterioration that occurs in the physical, chemical, biological and geophysical structures due to various external conditions of the soil in the living natural balance. One of the characteristics of urbanization is that it affects the land, especially land, for a variety of reasons. People living in cities have changed the nature and distribution of soil in a variety of ways. Urbanization is a concept that has direct and indirect continuous interaction with the soil. Soil is influenced in this way by urbanization, pollution is born from the same source. Indeed today, the pollution of the land is caused largely by chemical substances used to protect the durable waste of the house, the farm and the industrial, cultivated and planted areas, and the poisonous gases in the air combined with the rain gasses and mixing with the soil. If our big cities are thought to have expanded on fertile agricultural land, it is a fact that the contribution of the national gorilla is reduced through agricultural products of the earth. On the other hand, the contamination of the soil condensation and other pollutions that

reach up to deep soil layers. The most striking example of this is the pollution of groundwater around large settlement areas. The main causes of this pollution are sewage, solid wastes and poisonous gases that pollute the air.

3.1.4 Noise pollution

Noise is an important type of environmental pollution which negatively affects the hearing health and perception of humans, disrupts physiological and psychological balances, reduces work performance, and changes the quality of the environment by eliminating the pleasure and calmness of the environment. Major sources of urban noise include airports, industrial activities, construction works and traffic. There is a noise pollution in Turkey, especially in large cities, in industrial areas, in the regions where construction is carried out at a high speed, and in the residents of the towns, which causes adverse effects from hearing loss to mental disorders. Most of the cities are devoid of green belt that can hold up to a noisy scale.

3.1.5 Solid waste and garbage problem

Domestic and industrial solid wastes are a source of many problems. Solid wastes have as much content as waste from houses, wastes from commercial activities, and mining materials. Solid wastes have become an important problem especially in big cities in recent years. One aspect of solid waste that is relevant to local managers is the difficulty of collecting, transporting and destroying hazardous and toxic wastes. Irregular urbanization makes garbage vehicles enter the spontaneously created streets and avenues making the collection of waste very difficult and expensive. Often, local managers lack the means to be sent to every corner of the ever-growing city and give priority to the more visible face of the city. As a result, there are various problems in terms of both human health and natural resources. Apparently, the garbage problem is more than a problem to be solved without the garbage-producing people becoming conscious of this issue and organized to some extent. Reducing the amount of waste, the efficient processing of the recovery processes, is only possible with the conscious participation of the local people, so the incentive measures and other methods have to be put into practice (Rezafar, 2011).

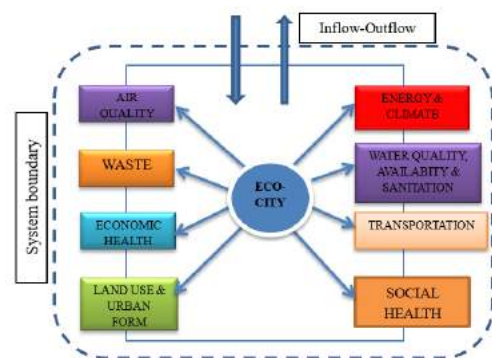


Figure 2. Eco-City Indicator System Model shows a system diagram of the Eco-City indicators within a semi-porous boundary that allow flow of material to and from the eco-city system. This depicts consequential inabilities of such systems to be self-sustaining (Amahpah et al. 2016)

4. Eco City Samples in The World

4.1. Tianjin Eco-city – Singapore

The Sino-Singapore Tianjin Eco-city is the second flagship Government-to-Government project between Singapore and China after the China-Singapore Suzhou Industrial Park (figure 1). The project was mooted by then-Singapore Senior Minister Goh Chok Tong and then-Chinese Premier Wen Jiabao in April 2007, against the backdrop of rapid urbanisation and increasing global attention on the importance of sustainable development. On 18 November 2007, Singapore Prime Minister Lee Hsien Loong and then-Chinese Premier Wen Jiabao signed a Framework Agreement for Singapore and China to jointly develop the Sino-Singapore Tianjin Eco-city (URL-2).



Figure 3. The Sino-Singapore Tianjin Eco-city (URL-3)

4.2. Dongtan Eco-City – China

It is an ecological settlement consisting of a combination of three towns to bring the Dongtan center, which is located on the Chongming Island, at the mouth of the Yangtze River (Fig. 2). The design of the city is based on the Manhattan Village or town plan. The first phase of the project (100 hectares) planned to be cultivated in 2010 at the World Expo in Shanghai is planned to accommodate a population of 5,000 people. In the later stages of Ecocity, it is planned to have a settlement of 500,000 people in 2050 (650 hectares) and 80,000 people in 2050 (3.000 hectares) in line with the development of the project (URL-4).

The project will set up a city that improves the biodiversity of Chongming Island and provides buildings, infrastructure and transportation requirements from renewable sources. 90 percent of all Dongtan's wastes will be collected, recycled and reused. Thus, over time the city is aimed to be a zero-waste city. In the design of the city, a social structure which does not try to look like a city of China but tries to make Chinese social life sustainable in modern life is also observed. The Dongtan Sustainability Institute will be established in Tongji University, and the relationship between the environment and economic performance experienced in this city will be examined (URL-4).



Figure 4. Dongtan Eco-City (URL-4)

4.3. Masdar Eco-City - Abu Dhabi

Established in 2006, the city provides energy savings in the sense of the area it occupies. Apart from this, building shell systems support a sustainable approach to the minimum use of active energy systems used in buildings. In addition to photovoltaic electricity generators, sunlight collectors used to obtain hot water from solar energy and condensed solar and geothermal heat support ventilation in the city by providing cooling absorbents with single and double acting collectors. In addition, the system that separates and classifies waste is systematized in every unit, and wet areas are used in landscape and solid areas are recycled in many areas. Apart from this, the vehicles are electric and it is expected that they will be commissioned in transportation when the public transportation network is completed in the near future (URL-5).

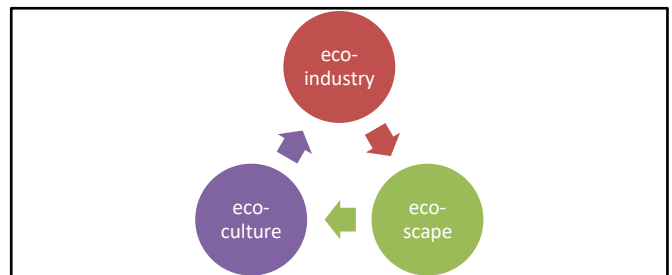


Figure 5. Three Goals of Eco-Cities Development



Figure 6. Masdar Eco-City - Abu Dhabi, (URL-6)

5. Conclusion

Cities are the regions most affected by environmental degradation and irritation due to crowded crowds and intense human activities. Green areas that strengthen people, nature and environment in the cities are the areas most affected by rapid urbanization and industrialization activities especially in developing countries such as Turkey. Green areas with ecological functions, protection of ecological balance and formation of healthy cities, recreational, visual and aesthetic functions; stressing the importance of economic functions and green spaces in urban planning through the use of urban landscapes and the possibility of allowing citizen to be renewed by getting rid of the stress and tiredness in daily life. Landscape architecture is the art of green and green science, which protects ecological, cultural and natural landscape values, natural destruction (habitat destruction) and environmental degradation. For this reason, open green spaces should be planned in cooperation with landscape architects and other professional

groups. Otherwise, it is impossible to make sustainable plans for the right, usable, future oriented, ecologically sustainable.

In order to create a successful eco-city, first correct and appropriate criteria should be determined. It is also necessary to identify and implement appropriate assessment methods. In order to create different methods, attention should be paid to border differences, advantages and disadvantages. As a result, examples of successful eco-cities can be created, which include livable, sustainable, social and economic development, while at the same time solving different environmental, economic and social problems of cities.

As a result, it should be that the requirements that are important in shaping and planning the cities are not the quantitative dimension but that they are met without destroying the resource base and environmental values. For this reason, it should be taken into consideration that the cities are primarily ecosystems where socio - economic activities are carried out. With this really moving, ecological principles should be foregrounded in urban designs.

Ecologic and environmentally sensible structuring/architecture suggest being more careful and wise about disappearing living environments. In this context, there must be structuring (Erdoğan, Aliasghari, 2013);

- Minimizing the structure mass and including open and green places,
- Integrated with the environment, topography, land morphology and vegetation,
- Using recycled construction materials and benefiting from local material means,
- Not consisting of many artificial components and where many biologic and ecologic services are provided naturally,
- Involving a conscious structuring culture,
- Recommending organic and hygienic solution ways,
- Using energy resources including water, air, wind and the Sun effectively and accurately,
- In harmony with the nature and in human scale,
- Where open, semi-open, closed place passages are provided most appropriately,
- Where social relationships are important,

References

- Azadeh, R. 2011. "Farklı İklim Koşullarında Yer alan Eko Kentlerin Tasarım İlkelerinin değerlendirilmesi ve Türkiye İçin Ekolojik Kentsel Tasarım Ön Çalışma Önerisi", Master Thesis, City Regional Planning Department, Gazi University,
- Aydın, S. 2013. "Kültür Kavramı". Antropoloji, Editör: Handan Üstündağ, T.C. Anadolu Üniversitesi Yayınları, Yayın No: 912 (2013): 23-46.
- Mohammed, B. 2016. "Kent Sorunların Çözülebilir Eko-Kentler Kriterleri ve Değerlendirme Yöntemleri. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Erdoğan, E., Aliasghari Khabbazi, P. 2014. "Environment, Ecological Building Culture and Green Buildings". Green

Infrastructure and Sustainable Societies /Cities. Ege University, 8-10 Mayıs 2014. İzmir.

- Göker, P., Tuna, A. 2017. "The Eco-Mimicry Approach Towards Cityscape Design and Examples in the World". 2th International Conference on Civil and Environment Engineering. May 8-10. Nevşehir.
- Cantzen, R. 1994. "Daha Az Devlet Daha Çok Toplum, Özgürlük, Ekoloji, Anarşi", Ayrıntı Publication, İstanbul.
- Meydan Yıldız, S.G. 2016. "Çevre Bilinci ve Eko Kent planlaması: Gölbaşı özel evre Koruma Bölgesi Örneği" PhD Thesis, Department of Social Sciences, Ankara University, Ankara.
- Kenworthy, J.R. 2006. The eco-city: ten key transport and planning dimensions for sustainable city development. Environment & Urbanization, Sage Publications, 18(1): 67-85.
- Caprotti, F. 2014. Eco-urbanism and the Eco-city, or, Denying the Right to the City?. Antipode, 46(5): 1285-1303.
- Çetinkaya, 2013. Eko-Kentler: Kent ve Doğa İlişkisinde Yeni Bir Sistem Tasarımı. Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi, 6 (1): 12-16.
- Karakurt Tosun, E. 2017. Sürdürülebilirlik Bağlamında Ekolojik Kent Söylemi. AİBÜ Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 17(4):169-189.
- İşıldar, G.Y. 2012. 2011 Avrupa Yeşil Başkenti Hamburg: Eko-Kent Kriterleri ve Performans Göstergeleri Açısından İncelenmesi. Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi, 12:(23), 241-262.
- Amapahpah, S.W. et. al. 2016. Dynamic of Eco-Cities: A review of Concepts Towards Operationalizing Sustainable Urbanization. Journal of Environment Accounting and Management. 4(1): 73-86.
- Soydan, O., Benliay, A. 2020. Evaluation of The Smart City Applications in Terms of Users: The Case of Turkey. European Journal of Science and Technology, 20: 381-391, December 2020
- URL-1 <https://ecocitybuilders.org/what-is-an-ecocity/> , (Access date: 20.09.2020)
- URL-2 www.tianjinecocity.gov.sg (Access date: 20.02.2017)
- URL-3 <https://blooploop.com> (Access date: 20.02.2017)
- URL-4 <http://www.designbuild-network.com> (Access date: 10.03.2017)
- URL-5 <http://www.masdar.ac/> (Access date: 10.03.2017)
- URL-6 <http://www.hansgrohe-int.com> (Access date: 10.03.2017)



Isolation Entomopathogenic fungi From the Two-Spotted Spider Mite [*Tetranychus urticae* Koch, 1836 (Acari: Tetranychidae)] at Erzincan Province

Engin Kılıç^{1*}

^{1*} Erzincan Binali Yıldırım University, Faculty of Pharmacy, Department of Microbiology, Erzincan, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6838-5977), ekilic@erzincan.edu.tr

(First received 10 September 2020 and in final form 31 January 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.870734)

ATIF/REFERENCE: Kılıç, E. (2021). Isolation Entomopathogenic fungi From the Two-Spotted Spider Mite [*Tetranychus urticae* Koch, 1836 (Acari: Tetranychidae)] at Erzincan Province. *European Journal of Science and Technology*, (21), 568-571.

Abstract

This study was conducted between 2015-2017. The infested with mites of the bean leaves were collected from the field. Then put in polyethylene bags, and brought to the laboratory. The mites on the bean leaves were transferred to the petri dish with Potato Dextrose Agar (PDA) by a brush at the laboratory. The petri dishes were incubated for growth and sporulation of the fungus (2 weeks in the incubator at 25±1°C). As a result, six entomopathogenic fungi (EPF) isolates were isolated from the cadaver of the *Tetranychus urticae* Koch, 1836 (Acari: Tetranychidae) Four of them were *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin (Deuteromycetes: Hyphomycetes) and two of them were *Metharizium anisopliae* (Metsch.) Sorokin (Deuteromycotina: Hyphomycetes). After the identification of isolates, they have been coded and stored under refrigerator conditions for use in other studies at the Pharmaceutical Microbiology Laboratory of the Faculty of Pharmacy, Erzincan Binali Yıldırım University.

Keywords: *Beauveria bassiana*, *Metharizium anisopliae*, *Tetranychus urticae*, Erzincan

Erzincan İlinde İki Noktalı Kırmızı Örümcek [*Tetranychus urticae* Koch, 1836 (Acari: Tetranychidae)]'den Entomopatojenik Fungus İzolasyonu

Öz

Bu çalışma 2015-2017 yılları arasında yürütülmüştür. Kuru fasulye üretim alanlarından akarlarla bulaşık fasulye yaprakları toplanıp, polietilen torbabalara konularak laboratuvara getirilmiştir. Laboratuvarda bir fırça yardımıyla fasulye yapraklarındaki akarlar Patates Dekstroz Aagarlı (PDA) petrilere aktarılmıştır. Petrilere fungusların gelişimi ve sporulasyonu için inkübatöre konulmuştur (2 hafta-25±1°C). *Tetranychus urticae* Koch, 1836 (Acari:Tetranychidae) kadvralarından 6 adet entomopatojenik fungus (EPF) izolatu elde edilmiştir. Bunlardan 4'ü *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin (Deuteromycetes: Hyphomycetes) ve 2'si *Metharizium anisopliae* (Metsch.) Sorokin (Deuteromycotina: Hyphomycetes) olduğu teşhis edilmiştir. Teşhisten sonra izolatu kodlanmış ve daha sonraki çalışmalar için Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Eczacılık Fakültesi, Farmasötik Mikrobiyoloji Laboratuvarında buzdolabı şartlarında depolanmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Beauveria bassiana*, *Metharizium anisopliae*, *Tetranychus urticae*, Erzincan

1. Introduction

Tetranychus urticae Koch, 1836 (Acari: Tetranychidae) is the most important pest species in the family Tetranychidae (Balci et al., 2020). It frequently occurs in the glasshouse and outdoor crops. It recorded on more than 200 host plants species (Morris, H., and Waterhouse, D. F., 2001.) In world, farmers largely rely on synthetic acaricides to control this pest. However, there are some problems (such as mite resistance, environmental contamination etc.) related to the use of synthetic acaricides in controlling *T. urticae*. Thus, non-chemical control measures are being developed as alternatives to synthetic acaricides for the control of the two spotted spider mite pest. One of them is the biological control using EPF.

EPF are the most common pathogens associated with spider mites (Maniania, et al., 2016). Several reports on the association between epf and *T. urticae* have been reported (Tamai et al., 2002; Irigaray et al., 2003). *B. bassiana* and *M. anisopliae* have

been reported to cause mortality in mite species (Rossi-Zalaf and Alves, 2006), including 5 the two-spotted spider mite, *T. urticae* (Alves et al., 2002; Tamai et al., 2002; Wekesa et al., 2005)

The main purpose of this study is to isolate EPF from the two-spotted spider mite *T. urticae*, which is a very important pest on agricultural crops.

2. Material and Methods

2.1. Geographical Origin of Collected Fields of Mites

In this study, the infested leaves with mites were collected from the bean production fields in Erzincan province. They were put them in polyethylene bags and brought to the laboratory into ice box. (Table 1).

Table 1. Geographical origin of collected of mites

Research Area	Geographical Origin of Collected of Mites	Country
Bean Production Fields	Erzincan -City Center	Turkey
	Erzincan -Kemah	
	Erzincan -Üzümlü	
	Erzincan-City Center	

2.2. Isolation and Identification of Fungi

In this study, the infested with mites were collected from the bean production fields and then putting in polyethylene bags and brought to the laboratory. The mites on the bean leaves were transferred to the petri dish with PDA by a brush at the laboratory. (Ocak et al., 2007). The petri dishes were incubated for growth and sporulation of the fungus (2 weeks in the incubator at 25 ± 1 °C). To identify mold colonies that have completed their development, macroscopic structures of molds and microscopic structures using the cellophane tape method were examined. The fungi were identified using morphological characteristics of reproductive structures with the aid of relevant taxonomic literature (De Hoog, 1972; Samson et al., 1988. Hasenekoğlu 1991) Diagnosed pure cultures were placed on horizontal agar containing PDA medium and stored at + 4 °C after two weeks incubation at 25 °C.

3. Results and Discussion

3.1. Isolation fungi from *Tetranychus urticae* Koch, 1836 (Acari: Tetranychidae)

In this study, *B. bassiana* and *M. anisopliae* were isolated from *T. urticae* collected from bean leaves in the different localities of Erzincan (Table 2).

Table 2. Fungal material isolated from *T. urticae*

Fungi Species	No	Code of Isolates	Hosts	Geographical Origin of Isolates	Country
<i>B. bassiana</i>	1	BbEMRKZakar	<i>T. urticae</i>	Erzincan - City Center	Turkey
	2	BbEMRKZakar			
	3	BbEMRKZakar		Erzincan -Kemah	
	4	BbEMRKZakar			
<i>M. anisopliae</i>	1	MaEÜZLakar		Erzincan -Üzümlü	
	2	MaEMRKZakar	Erzincan - City Center		

3.2. Identification of *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin (Deuteromycetes: Hyphomycetes)

In this study, *B. bassiana* was isolated from *T. urticae* collected from bean leaves (Table 2). *B. bassiana*: In PDA, the colonies are 8–23 µm in 8 days, velvety powdery, cinnamon, the colony is white then yellowish, colorless under colony, no exudate and odor, sunken hives are transparent, flat-walled, 1.5–3 µm wide, overhead hives flat wall 1–2 µm wide, creepers and climbers carry swollen lateral cell groups on them, measuring 3–6 x 3–5 µm. These cells, branch out to form smaller and swollen cells, conidiogen cells develop in the form of an ellipse or semi-cylindrical, lateral cells in small groups or individually or directly through hyphae, 1.5–6 µm in size, spherical or sometimes oval. Shaped elongated base parts measuring 3–6 x 2.5–3.5 µm, terminal cells 1 µm wide in the shape of a cluster, up to 20 µm long, geniculate, denticles up to 1 µm long as the cluster, cones transparent, flat-walled. There are spherical, sometimes apiculate bases, measuring 2–3 x 2–2,5 µm.

3.3. Identification of *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorokin (Deuteromycotina: Hyphomycetes)

M. anisopliae, an anamorphic fungus that belongs to the phylum Ascomycota, is the most intensively studied species of the genus *Metarhizium* (Liu et al., 2001). According to Alves, 1998 and Jackson and Jaronski, 2009, the reproductive structures of *M. anisopliae* comprise conidiophores and conidia. Leveduriform structures or blastospores and appressoria are produced by *M. anisopliae* through mycelial differentiation. Blastospores can function in certain cases as reproductive units and are produced in submerged cultures and the hemolymph of insect hosts. The appressoria, formed at the extremity of the hyphae, may be involved in fungus pathogenicity and have the function of initiating epicuticular and procuticle penetration of the insect tegument. The production of microsclerotia by isolates of *M. anisopliae* has been observed after cultivation in liquid media with different concentrations of carbon and carbon-nitrogen.

4. Conclusions and Recommendations

B. bassiana causes a disease known as "white muscadine" in insects. The spores of this fungus germinate when they come into contact with the upper skin layer of insects and grow directly from the upper skin into the bodies of their hosts. The fungus reproduces rapidly in the body by producing toxins and drying the insect's food. Therefore, unlike bacterial and viral pathogens of insects, the only contact is sufficient for infection of *Beauveria* and other fungus pathogens. The host does not need to eat themselves. Fungi; when it kills its host, it grows outward, covering the beetle with a layer of white mold between the softer parts of the soft skin. This fine downy mildew produces millions of new infective spores released into the environment. It is common for pathogenic fungi to harm the population of oribatids and other mites that make up most of the secondary animal decomposers that contribute to the formation of humus in the soil. There is many more research for biological control of some parasite mites (Kaaya & Hassan 2000; Shaw et al., 2002; Sáenz-de-Cabezón, 2003; Irigaray et al., 2003).

According to (Shi & Feng, 2004), *Tetranychus cinnabarinus* eggs can be killed by *B. bassiana*. Barreto et al., 2000, *B. bassiana* isolates tested on *Mononychellus tanajoa*, one of Tetranychid mites parasitic on cassava, were found to be effective. Investigated *B. bassiana*'s entomopathogenic activity against *Psoroptes ovis* (Acari: Psoroptidae) mite, which is parasitic in rabbits. After the mites were immersed in a solution containing 10^7 – 10^9 conidia in 1 ml, the fungus was sported on the body surface of the mite and all of the mites were covered with mycelium. There was no decrease in ovulation due to fungal infection, but both the rate of egg-laying and the life span of the hatched larvae were significantly reduced. According to the results of this study, it was emphasized that *B. bassiana* has a high level of pathogenic activity against *Psoroptes* species and that it should be more important to use as a biological control agent against *Psoroptes* species that are parasites in rabbits, sheep, and cattle (Lekimme et al., 2006). *B. bassiana* isolate obtained from *Varroa destructor* mites, a parasite of honey bees, has been used in the treatment of honey bees (*Apis mellifera*) parasitized with these mites and successful results have been obtained (Meikle et al., 2006). Most studies on acar-fungi are related to Tetranychids and Eryophyids (Geest et al., 2000). Studies on other mite groups are very few.

When the existing literature is reviewed, it could be said that the fungus isolated in the present study is an important natural enemy of the mentioned mites and may cause changes in the mite populations by carrying the mites with various body parts. Recently, EPF known to be harmless for humans and mammals in the soil to use biological control have begun to be discovered. Some of them were recorded in this study. The present study and previous studies show these this fungus species can be used in the biological control of harmful mites. However, more studies are needed in the future.

5. Acknowledge

This study was supported by the Erzincan Binali Yıldırım University Research Foundation (FEN-A-300614-0104). The author would like to thank Dr. Medea Burjanadze, Agricultural University of Georgia Department of Forest Protection, for morphological identification of entomopathogenic fungi.

References

- Alves SB, Tamai MA, Lopes RB (1998) Avaliação de *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. para controle de *Tetranychus urticae* Koch em crisântemo. In: Abstracts 17th Brazil. Congr entomol Rio de Janeiro, p 1068.
- Alves SB, Rossi LS, Lopes RB, Tamai MA, Pereira RM (2002) *Beauveria bassiana* yeast phase on agar medium and its pathogenicity against *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae) and *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *J Invertebr Pathol* 81:70–77.
- Alves SB, Tamai MA, Rossi LS, Castiglioni E. 2005. *Beauveria bassiana* pathogenicity to the citrus rust mite *Phyllocoptruta oleivora*. *Experimental and Applied Acarology* 37: 117–122.
- Aydın, L., (2005). *Varroa destructor*'ün kontrolünde yeni stratejiler, *Uludağ Arıcılık Dergisi*, 5 pp. 59–62
- Balcı M.H., İnanıcı M. A., Ay, R. (2020) Effects of Some Pesticides on *Tetranychus urticae* and Predatory Mite *Phytoseiulus persimilis* in Laboratory Conditions. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty. Cilt* 17, Sayı 2, Sayfalar 172 – 179.

- Barreto, R. S., Marques, E. J., Jr. Gondim, M. G. C. Vargas de Oliveira, J. (2004), Selection of *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. and *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorok. for the control of the mite *Mononychellus tanajoa* (Bondar), Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.), 61 pp. 659–664.
- De Hoog, G. (1972). The genera *Beauveria*, *isaria*, *Tritirachium* and *Acrodontium* gen. nov. *Studies in Mycology* 1, 1-41.
- Van der Geest LPS, Elliot SL, Breeuwer JAJ, Beerling EAM (2000) Diseases of mites. *Exp Appl Acarol* 24:497–560
- Humber RA, de Moraes GJ, Santos dos JM (1981) Natural infection of *Tetranychus evansi* (Acarina: Tetranychidae) by a *Triplosporium* spp. (Zygomycetes: Entomophthorales) in Northeastern Brazil. *Entomophaga* 26:421–425
- Irigaray FJSC, Marco-Mancebon V, Perez-Moreno I (2003) The entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* and its compatibility with triXumuron: eVects on the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae*. *Biol Control* 26:168–173
- Jackson, M.A. & Jaronski, S.T. 2009. Production of microsclerotia of the fungal entomopathogen *Metarhizium anisopliae* and their potential for use as a biocontrol agent for soil-inhabiting insects. *Mycological Research* 113: 842-850.
- Kaya, G. P., Hassan, S. 2000. Entomogeneous fungi as promising biopesticides for tick control', *Experimental and Applied Acarology*, 24: 913-926.
- Lekimme, M. Mignon, B. Tombeux, S. Focant, C. Maréchal, F. Losson, B. (2006). In vitro entomopathogenic activity of *Beauveria bassiana* against *Psoroptes* spp. (Acari: Psoroptidae), *Veterinary Parasitology*, 139 pp. 196–202
- Liu, Z.Y., Z.Q. Liang, A.J.S. Whalley, Y.-. Yao, And A.Y. Liu. 2001. *Cordyceps brittlebankisoides*, a New Pathogen of Grubs and Its Anamorph, *Metarhizium anisopliae* var. *majus*. *Journal of Invertebrate Pathology* 78: 178-182.
- Maniania, N. K., Ekesi, S., Kungu, M. M., Salifu, D. and Srinivasan, R. 2016. The effect of combined application of the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* and the release of predatory mite *Phytoseiulus longipes* for the control of the spider mite *Tetranychus evansi* on tomato. *Crop Protect.* 90: 49-5).
- Meikle, W. G Mercadier, G. Girod, V.. Derouané, F. Jones, W. A., (2006). Evaluation of *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin (Deuteromycota: Hyphomycetes) strains isolated from varroa mites in southern France', *Journal of Apicultural Research*, 45 pp. 219–220
- Morris, H. and D. F. Waterhouse 2001. *The Distribution and Importance of Arthropod Pests and Weeds of Agriculture in Myanmar*. ACIAR Monograph 67, ACIAR (Australian Centre for International Agricultural Research) Canberra, Australia .
- Ocak I., S. Doğan, N. Ayyıldız & I. Hasenekoğlu 2007. Akarlardan izole edilmiş entomopatojen bir fungus türü: *Beauveria bassiana* (Balsamo). *Journal of the Society for Art and Science*, 7: 125-132.
- Rossi-Zalaf, L. and Alves S. B., 2006. Susceptibility of *Brevipalpus phoenicis* to entomopathogenic fungi. *Experimental and Applied Acarology* 40(1):37-47
- Sáenz-de-Cabezón Irigaray, F. J. Marco-Mancebón, V. Pérez-Moreno, I., (2003). The entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* and compatibility with triflumeron: effects on the twospotted spider mite *Tetranychus urticae*', *Biological Control*, 26 pp. 168–173
- Samson RA, Evans HC, Latgé J-P. 1988. Atlas of entomopathogenic fungi. Berlin: Springer.
- Shaw, K. E. Davidson, G. Clark, S. J.. Ball, B. V. Pell, J. K Chandler, D. Sunderland, K. D. (2002). Laboratory bioassays to assess the pathogenicity of mitosporic fungi to *Varroa destructor* (Acari: Mesostigmata), an ectoparasitic mite of the honeybee, *Apis mellifera*', *Biological Control*, 24 pp. 266–276
- Shi, W. B. Feng, M. G. (2004). Lethal effect of *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, and *Paecilomyces fumosoroseus* on the eggs of *Tetranychus cinnabarinus* (Acari: Tetranychidae) with a description of a mite egg bioassay system, *Biological Control*, 30 pp. 165–173
- Tamai MA, Alves SB, Almeida JEM, Faion M. 2002. Avaliação de fungos entomopatogênicos para o controle de *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Arquivos do Instituto Biológico* 64: 77–84.
- Van der Geest LPS, Elliot SL, Breeuwer JAJ, Beerling EAM (2000) Diseases of mites. *Exp Appl Acarol* 24:497–560.
- Wekesa VW, Maniania NK, Knapp M, Boga HI (2005) Pathogenicity of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* to the tobacco spider mite *Tetranychus evansi*. *Exp Appl Acarol* 36:41–50



Isıl Gerilmelerin MEMS Tabanlı Fabry-Pérot Optik Basınç Sensörünün Performansına Etkilerinin Araştırılması

Fikret Yıldız^{1*}

^{1*} Hakkari Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Hakkari, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-4846-3998),
fikreyildiz@hakkari.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi XXXX ve Kabul Tarihi XXXX)

(DOI: 10.31590/ejosat.792956)

ATIF/REFERENCE: Yıldız, F. (2021). Isıl Gerilmelerin MEMS Tabanlı Fabry-Pérot Optik Basınç Sensörünün Performansına Etkilerinin Araştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 572-580.

Öz

Bu çalışmada, Poly-Si ve Si₃Ni₄ malzemelerinden oluşan FPI (Fabry-Pérot Interferometer) diyaframları için ısıl gerilmelerin diyaframın hassasiyeti ve frekans cevabı üzerindeki etkileri teorik olarak incelenmiştir ve değerlendirilmiştir. Diyaframların kalınlıkları 3 µm ve 4 µm olarak seçilmiştir. Yarıçapları ise 100 µm, 120 µm ve 130 µm olarak seçilmiştir. Poly-Si diyafram sıkıştırma (compressive) gerilmesine sahip olduğu ve Si₃Ni₄ diyaframında da germe (tensile) gerilmesine sahip olduğu varsayılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, Poly-Si diyafram için -80 MPa ile -5 MPa aralığındaki sıkıştırma gerilme değerlerinde Si diyaframa göre daha yüksek hassasiyete sahip iken daha düşük frekans cevabına sahiptir. Benzer olarak germe gerilmesine sahip Si₃Ni₄ diyaframının hassaslığı gerilme arttıkça azalmaktadır ve frekans cevabı da gerilme arttıkça artmaktadır. 1000MPa ile 1750 MPa arasında gerilme gerilmesine sahip Si₃Ni₄ diyaframı Si(Silikon) diyaframa göre daha düşük hassasiyet göstermesine rağmen daha yüksek frekans cevabına sahiptir. Literatürde mevcut olan farklı geometrilerde diyafram tasarımı ve farklı özelliklere sahip malzeme kullanılmasına ek olarak diyaframın üretimi esnasında oluşan ısıl gerilmelerde göz önüne alınarak daha hassas ve daha geniş frekans cevabına sahip sensör tasarımı mümkün olabilir.

Anahtar Kelimeler: Isıl gerilme, Diyafram, MEMS tabanlı FPI optik basınç sensör.

Investigation of the Effects of Thermal Stress on the Performance of MEMS Based Fabry-Pérot Optical Pressure Sensor

Abstract

In this study, the effect of thermal stresses on FPI (Fabry-Pérot Interferometer) diaphragms made of Poly-Si and Si₃Ni₄ materials were theoretically investigated and evaluated in terms of the sensitivity and frequency response of the diaphragm. The thicknesses of diaphragms were chosen as 3 µm and 4 µm and radii were chosen as 100 µm, 120 µm and 130 µm, respectively. It was assumed that the Poly-Si diaphragm has compressive stress and Si₃Ni₄ diaphragm has tensile stress. Results showed that Poly-Si diaphragm with compression stress between -80 MPa and -5 MPa has higher sensitivity compared to Si diaphragm, however, it has a lower frequency response. Similarly, the sensitivity of the Si₃Ni₄ diaphragm with tensile stress decreases as the stress increases and the frequency response increases as the stress increases. The Si₃Ni₄ diaphragm with a tensile stress between 1000 MPa and 1750 MPa has a higher frequency response than the Si diaphragm although it shows lower sensitivity compared to Si diaphragm. In addition to the use of diaphragm design in different geometries and materials with different properties as available in the literature, it may possible to design a sensor with a higher sensitivity and a wider frequency response by considering the thermal stresses that occur during the fabrication of the diaphragm.

Keywords: Thermal stress, Diaphragm, MEMS Based FPI optic pressure sensor

* Sorumlu Yazar: fikreyildiz@hakkari.edu.tr

1. Giriş

Sanayi, endüstri, tıp ve diğer birçok alanda basınç değerinin ölçülmesi ve izlenmesi (zaman içinde değişimi) önem arz etmektedir. Bunun için farklı uygulamalara yönelik basınç ölçüm sistemleri geliştirilmektedir (Chandra Mukhopadhyay, 2015; J. O. Lee et al., 2017; Wu et al., 2013). Hafif ve hızlı olmaları, küçük boyutlarda olmaları ve daha doğru ölçüm sonuçları vermelerinden dolayı MEMS (Mikro Elektromekanik Sistem) tabanlı basınç ölçüm sensörleri rakiplerine göre avantajlara sahiptir (Bhat, 2007; Madhavi, Sumithradevi, Krishna, & Vijayalakshmi, 2011). MEMS basınç sensör sisteminin ana parçası ince bir diyaframdır ve ölçümler bu diyaframın mekanik olarak ortam basıncı tarafından deformasyonu sonucunda elde edilir. Diyaframın deformasyonun ölçülmesinde farklı çalışma mekanizmaları kullanılmaktadır. Bu mekanizmalar piezoresistif, kapasitif, optik, rezonans ve piezoelektrik olabilir (Hao et al., 2014; Song et al., 2020). MEMS tabanlı fiber optik basınç sensörleri diğer elektriksel mekanizmalara göre, küçük boyutlarda üretilebilmelerine ek olarak yüksek hassasiyet, hızlı ölçüm alma ve elektromanyetik etkilerden etkilenmemesi gibi avantajlarından dolayı bu alanda çalışan araştırmacıların daha çok ilgisini çekmektedir (Bao & Chen, 2012; Dakin, Ecke, Schroeder, & Reuter, 2009; Jensen et al., 2004; Jorgenson & Yee, 1993; Kersey et al., 1997; B. Lee, 2003; B. H. Lee et al., 2012; Patrick, Williams, Kersey, Pedrazzani, & Vengsarkar, 1996; Somer, Szendiuch, & Urban, 2018; Totsu, Haga, & Esashi, 2005; R. Wang, Xie, Xu, Chen, & Xiao, 2019; B. Xu, Liu, Wang, Jia, & Jiang, 2017). Optik basınç sensörleri arasında Fabry-Pérot interferometresi (FPI) en yaygın kullanılanıdır (Z. Li et al., 2015; Liao et al., 2014; Liu et al., 2017; Mihailov et al., 2011; F. Xu et al., 2012; Y. Zhang et al., 2013).

FPI-tabanlı basınç sensörünün yapısında genel olarak iki tane yansıtıcı yüzey ve bir tane kavite bulunmaktadır. Bu yansıtıcı yüzeylerin biri optik fiberin ucunda bulunurken diğeri de basınç altında hareket (deforme) edebilen diyaframdır. Diyafram basınç altında deforme olduğunda iki yansıtıcı yüzey arasındaki ışığın hareket ettiği yol değişir dolayısıyla ile faz farkı oluşur. Bir fotodetekör yardımı ile diyaframın yer değiştirmesi (deforme) ile ilişkili olan yansıyan ışığın genliği ölçülür (Hayber, Tabaru, & Saracoglu, 2019; Qi et al., 2019; Song et al., 2020). Diyaframın geometrisi ve yapıldığı malzemenin özellikleri sensörün hassasiyetini belirleyen en önemli faktörlerdendir. Silika, SiO₂ ve grafin optic basınç sensörü üretiminde en çok tercih edilen malzemelerdendir. MEMS basınç sensörlerinde mühürlenmiş (sealed) kavite oluşturmak için yüzey işleme veya katı (bulk) mikro işleme teknolojisi bazı durumlarda da bu iki teknoloji beraber kullanılmaktadır (A & T, 2016; Mishra & Kumar, 2019). Diyaframın seçimi yapılırken, diyaframı oluşturan malzemenin fiziksel özellikleri ve diyaframın üzerinde işlem yapılabilmesine dikkat edilir (R. Wang et al., 2019). Si malzemesi ile cam malzemesinin yapıştırılması sonucu aralarında kuvvetli bir bağ olmasından dolayı, diğer bir deyişle mühürlenmiş kavite üretimine imkan vermesinden dolayı, Si diyafram yaygın olarak basınç sensörü üretiminde kullanılmaktadır (Cheng et al., 2015; M. Li, Wang, & Li, 2006; Mehmood, Haneef, & Udrea, 2020; R. Wang et al., 2019; W. Wang, Wu, Tian, Niezrecki, & Wang, 2010; Yin et al., 2014).

Basınç sensöründe alıcı olarak kullanılan diyaframın üretimi esasında kullanılan malzemelerin ısıl genleşme katsayılarındaki farklılıklardan dolayı (anodik yapıştırma) veya yüksek

sıcaklıklarda yapılan üretimler sonucunda diyaframda ısıl stress (gerilme) meydana gelmektedir (F. Yildiz, Matsunaga, & Haga, 2016, 2018; F. Yildiz, Matsunaga, & Haga, 2016; Fikret Yildiz, 2018). Basınç sensörünün hassaslığı ve doğrusalılığı da dolayısıyla ısıl gerilmelerden dolayı değişmektedir. Bununla ilgili çalışmalar literatürde mevcuttur. Bu çalışmalardan birinde Si ve cam malzeme anodik yapıştırma yöntemi ile 377 °C 'da yapıştırılmıştır. Oluşan ısıl gerilmelere bağlı olarak Si diyaframın deformasyonu 40 kPa basınç değerine kadar teorik ve nümerik olarak hesaplanmıştır ve karşılaştırılmıştır. Teorik ve nümerik sonuçlar arasında büyük farklılıklar olduğu görülmüştür (Ge, Cai, Wang, & Zhang, 2018). Diğer bir çalışmada ise, Pyrex cam ile Si diyafram arasında oluşan ısıl gerilmeler, kavite içinde farklı basınçta gaz olduğu düşünülerek nümerik olarak hesaplanmıştır. Diyaframın merkezinde ve kavite kenarlarında maksimum gerilmelerin olduğu tespit edilmiştir ve farklı sıcaklıklarda, dalgaboyunda meydana gelen kaymalar araştırılmıştır (R. Wang et al., 2019). Anodik yapıştırma yönteminde kullanılan Si-Cam ikilisine ek olarak yüzey işleme teknolojisi kullanılarak da üretilmiş basınç sensörü ile ilgili çok sayıda çalışma mevcuttur. Yüzey işleme yöntemi ile üretim düşünüldüğünde Poly-Si (Ertuğrul & Ülker, 2020), Si₃Ni₄, SiC, SiO₂ gibi malzemelerden oluşan diyafram yapıları sıklıkla literatürde gerçekleştirilmiş çalışmalarda kullanılmaktadır. Diyaframda oluşan gerilmelerin genel olarak iki kaynağı bulunmaktadır. Bunlar malzemenin kendinden kaynaklı ve dış faktörlerle alakalı gerilmelerdir. Dış faktörlerden kaynaklı gerilme sebeplerinden bazıları farklı malzeme özellikleri, ısıl genleşme farklılıkları ve üretim sırasında kullanılan işlem şartlarının (process condition) aynı olmamasıdır (Jiang, Cao, Xu, Zhang, & Liu, 2014; J. O. Lee et al., 2019; Mehmood et al., 2020; Totsu et al., 2005). Diyafram üzerinde oluşan gerilmeler, diyaframın ömrünü azaltmaktadır ve performansını etkilemektedir (Mishra & Kumar, 2019). Yukarıda bahsedildiği gibi yapılan çalışmalarda genel olarak gerilmelerin diyaframın yer değiştirmesine, diğer bir deyişle hassasiyetine, olan etkisi araştırılmıştır. Diyafram üzerindeki gerilmelerin diyaframın hassasiyeti kadar frekans üzerindeki gerilmelerin oluşturduğu etkilerinde incelenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, MEMS tabanlı FPI (Fabry-Perot Interferometre) basınç sensörü tasarımı için iki farklı malzemeden oluşan diyaframın frekans ve hassasiyet performansı teorik olarak hesaplanmıştır ve karşılaştırılmıştır. Bu hesaplamalarda ısıl gerilmelerin de etkisi göz önünde bulundurulmuştur. Farklı yarıçaplar ve kalınlıklardaki diyaframların Si₃Ni₄ ve Poly-Si malzemesinden oluştuğu varsayılmıştır ve gerilmelerin olmadığı varsayılan Si diyafram da sonuçları karşılaştırmak için referans olarak kullanılmıştır.

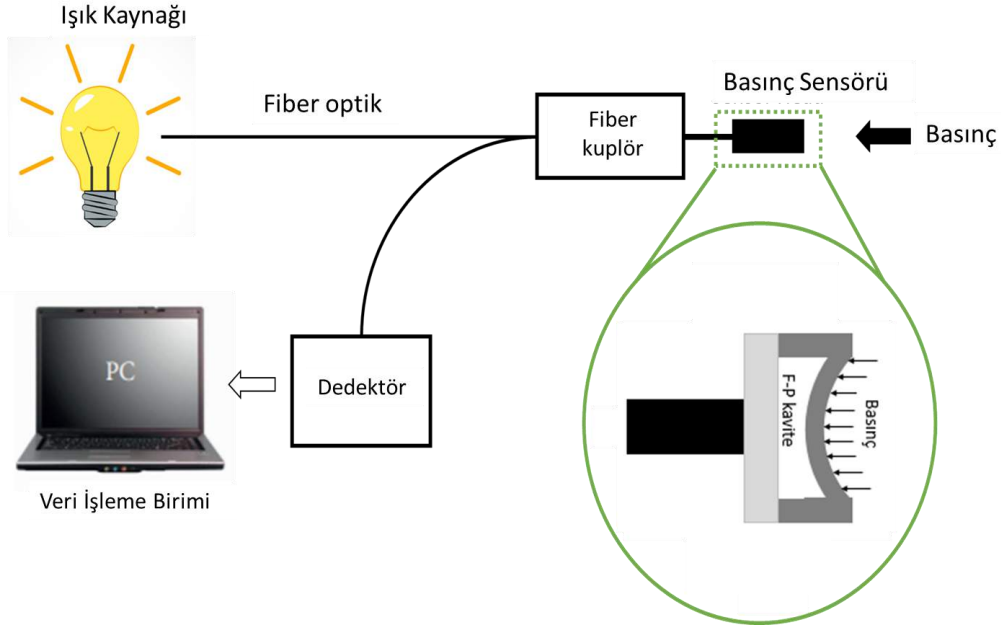
2. Materyal ve Metot

2.1. Sensör Tasarımı

Diyafram tabanlı Fabry-Perot optik sensörü Şekil.1'de gösterildiği gibi optik girişim teorisi ve diyafram dinamik titreşim analizine bağlı bir çalışma mekanizmasına sahiptir. Farklı dalgaboylarında ışık üreten ışık kaynağı, fiber kuplörü, basınç sensörü ve optik dedektör parçalarından oluşmaktadır. Fiber kuplörü yansıyan ışığı dedekte etmek için kullanılır. Diyafram ve kavite de gelen basınç değerini ölçmek için kullanılan sensörün parçalarıdır. Işık kaynağından gelen ışık iki farklı arayüzde

yansıma maruz kalır. İlk fiber ucunda oluşurken diğerinde belirli basınç altında deforme olan diyaframdan dolayı oluşan yansımadır. Yansıyan ışık fiber yardımıyla fotodetektöre ulaşır ve dedektör gelen ışığı elektriksel sinyale dönüştürerek veri işleme birimine aktarır. Basınç ölçümü, gelen ışığın gücü (intensity) ile

diyafram etki eden basınç ilişkilendirildiğinde tamamlanmış olur(Fu et al., 2017; Hayber et al., 2019; Ma, Jiang, Hu, Jiang, & Zhang, 2020). Diyafram malzemesinin mekanik ve geometrik özellikleri bu nedenle diyafram tabanlı FPI sensörünün frekans ve hassasiyetini belirlemektedir(Hayber et al., 2019).



Şekil 1. Diyafram tabanlı MEMS Fabry-Perot İnterferometre optik basınç sensörünün şekilsel gösterimi

Düzgün bir P basıncı altında küçük deformasyon yaklaşımına göre, dairesel bir plakannın yerdeğiştirmesi, $w(r)$, Denklem 1'de verilmiştir (Chattopadhyay & Chowdhury, 2017; Gharaei & Koohsorkhi, 2016; W. Zhang et al., 2015).

$$\nabla^2 w \nabla^2 D = P \quad (1)$$

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \quad (2)$$

Burada P, diyaframa uygulanan basıncı, D, diyaframın eğilme rijitliğini, E, Young Modülünü, h, diyafram kalınlığını ve ν is the Poisson's oranını göstermektedir. Silindirik koordinatlarda diferansiyel operatörü (∇), Denk.3'de olduğu gibidir. Denk.3'ü Denk.1'de yerine yazıp D' nin tabaka boyunca sabit olduğu varsayılırsa diyaframın dikey yöndeki yerdeğiştirmesi, Denk.4'de olduğu gibidir.

$$\nabla^2 = \frac{\partial}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \phi^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \quad (3)$$

$$\nabla^2 w = P/D$$

Diyaframın radyal olarak dikey yöndeki yerdeğiştirmesi, $w(r)$, ve maksimum yerdeğiştirmesi, w_{max} , aşağıdaki gibidir.

$$w(r) = \frac{Pr^4}{64D} \left\{ 1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right\}^2 \quad (4)$$

$$w(r=0) = w_{max} = \frac{Pr^4}{64D}$$

Diyaframın üzerinde gerilme olduğu (σ) varsayılırsa Denk.4, Denk.5(Mishra & Kumar, 2019) gibi ifade edilebilir.

$$w(r=0) = w_{max} = \frac{Pr^4}{64D + 4\sigma hr^2} \quad (5)$$

Denklem 5 kullanılarak üzerinde gerilme olan diyaframın hassasiyeti (Sensitivity, S) Denk.6 ile hesaplanabilir.

$$S = \frac{w}{P} = \frac{r^4}{64D + 4\sigma hr^2} \quad (6)$$

Kenarları sabitlenmiş dairesel bir plakannın rezonans frekansı Denk.7 ile ifade edilir(Barauskas, D.; Pelenis, D.; Vanagas, G.; Viržonis, D.; Baltrušaitis, 2019).

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (7)$$

Burada, k, diyaframın elastik katsayısını ve m ise diyaframın kütesini göstermektedir. Diyafram üzerinde gerilme var ise diyaframın elastik katsayısı, Denk.8'de olduğu gibi ifade edilebilir(Raskin, Brown, Khuri-Yakub, & Rebeiz, 2000).

$$k = \frac{16\pi Eh^3}{3r^2(1-\nu^2)} + 4\pi\sigma h \quad (8)$$

Bu çalışmada, MEMS alanında ve yüzey işleme teknolojisi alanında diyafram olarak sıklıkla kullanılan Poly-Si ve Si_3Ni_4 diyaframları, farklı kalınlık (3 μm ve 4 μm) ve yarıçaplarda (100 μm , 120 μm , 130 μm) FPI basınç sensörü diyaframı olarak kabul edilmiştir ve diyaframların hassasiyeti ve frekans cevapları farklı stress değerleri altında elde edilmiştir. Üzerinde stress olmadığı varsayılan Si malzemeden oluşan diyafram da Poly-Si ve Si_3Ni_4 diyaframlarının sonuçları ile karşılaştırma yapmak için referans

alınmıştır. Üç farklı diyaframlar ile ilgili bilgiler Tablo 1’de gösterilmiştir.

Poly-Si diyaframda sıkışma (compressive) gerilmesinin -400 MPa ile 400 MPa (Mishra & Kumar, 2019) aralığında değiştiği ve Si₃Ni₄ diyaframda da gerilme (tensile) gerilmesi (≥1 Gpa ve 700-1200 MPa)(Jiang et al., 2014; Laconte J, Flandre D, 2006) aralığında değiştiği literatür çalışması sonucu anlaşılmıştır. Literatürde verilen bu bilgilere göre 3 µm ve 4 µm kalınlığına sahip Poly-Si için sıkıştırma gerilimi -80 MPa ile -5 MPa arasında olduğu varsayılmıştır. Burada yapılan diğer bir yaklaşım da 1-2.5

µm kalınlığına sahip Poly-Si diyafram için stres değeri -5 ve -20 MPa olduğu belirtilmiştir (Chen et al., 2008). Bu çalışma, da 1-2.5 µm kalınlığındaki Poly-Si diyafram aralığı 1-3 µm olarak kabul edilmiştir. Benzer olarak, 3 µm ve 4 µm kalınlığında Si₃Ni₄ diyaframı içinde gerilme gerilmesinin 1000 MPa ile 1750 MPa arasında olduğu varsayılarak sonuçlar elde edilmiştir ve değerlendirilmiştir. Maksimum kaplanabilir Si₃Ni₄ diyafram kalınlığı 2 µm civarında olsa da katman halinde daha kalın Si₃Ni₄ diyafram üretilmesi de mümkündür(L.J. Ferná’ndez, E. Berenschot, J. Sese’ & J. Flokstra, 2005). Diyaframların yarıçapları 100 µm, 120 µm ve 130 µm olduğu varsayılmıştır.

Tablo 1. FPI Diyaframlarının Geometrik Özellikleri ve Diyafram Malzemelerinin Özellikleri

FPI Sensör Diyafram Özellikleri		Sembol	Değer (µm)	
Yarıçap		r	100,120,130	
Kalınlık		h	3, 4	
Diyafram Malzemesi	Young Modülü (GPa)	Poisson Oranı	Yoğunluk (kg/m ³)	Stress (MPa)
Si (Ge et al., 2018)	160	0.28	2320	-
Poly-Si	169	0.3	2329	(-80)-(-5)(Chen et al., 2008; Mishra & Kumar, 2019)
Si ₃ Ni ₄ (MTI Corporation, n.d.)	320	0.25	3260	≥1 GPa(Jiang et al., 2014), 700-1200(Laconte J, Flandre D, 2006)

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Hassasiyet (nm/kPa) ve Frekans (kHz) Analizi

Bu çalışmada FPI basınç sensörü için hassasiyet (S,nm/kPa) ve frekans cevabı (kHz) analizi literatürde mevcut olan denklemler ile hesaplanarak analiz sonuçları iki farklı diyafram için yorumlanmıştır. Poly-Si ve Si₃Ni₄ diyaframları için hassasiyet (S,nm/kPa) ve frekans cevabı (kHz) analiz sonuçları Tablo 2’de gösterilmiştir. Hassasiyet, kullanılan diyaframın maksimum yerdeğiştirmesinin ortamdaki basınca oranı olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışmada hassasiyet hesabı yapılırken Poly-Si diyaframda -80 MPa- (-5 MPa) aralığında ısıl gerilmenin olduğu varsayılmıştır. Si₃Ni₄ diyaframı içinde ısıl gerilmenin 1000-1750 MPa aralığında olduğu varsayılmıştır. Diyafram kalınlıkları (3 µm ve 4 µm) ve yarıçapları (100 µm,120 µm ve 130 µm) diyaframın toplam yerdeğiştirmesinin diyafram kalınlığının %30’undan az olacak şekilde seçilmiştir. Diyaframa uygulanan basınç ile yerdeğiştirme arasında doğrusal bir ilişki olması için bu değerler dikkatli bir şekilde seçilmelidir (D. Giovanni, 1982; Hayber et al., 2019). Sonuçlar aynı boyut ve kalınlıkta Si diyafram sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Si diyafram, FPI sensör üretiminde sıklıkla kullanıldığı için sonuçları karşılaştırılırken referans olarak alınmıştır. Poly-Si diyafram için ısıl kaynaklı gerilmeler genel olarak sıkıştırıcı özelliğe sahip olduğu varsayıldığında, Şekil 2-(a)’da 3 µm kalınlığına sahip Poly-Si

diyafram için ısıl gerilme değeri -80 MPa değerinden -5 MPa aralığında değiştirildiğinde, diyaframın hassasiyeti azalmaktadır. Başka bir ifade ile sıkıştırıcı gerilme değeri büyüklük (mutlak) olarak azaldıkça hassasiyet azalmaktadır. Diyaframın hassasiyet ve frekans cevabı hesaplamaları için kullanılan denklemler literatürde mevcut olduğu için nümerik sonuçlarla doğrulamak için tekrar karşılaştırma yapılmamıştır. Tablo 1’de gösterilen stres verileri literatürde deneysel olarak da elde edildiği için nümerik sonuçlar tekrar elde edilmemiştir. Sadece Poly-Si diyaframı için, yerdeğiştirmesinin ve frekans cevabının sıcaklığa bağlı olarak dolayısıyla ısıl gerilmelere bağlı olarak nasıl değiştiği test edilmiştir. Bunun için Femtet yazılımı (Murata Co,Ltd.) kullanılarak 500 µm kalınlığında Si alttaş üzerine 600 °C, 900 °C ve 1100 °C’ de 4 µm kalınlığında ve 120 µm yarıçapında Poly-Si kaplandığı varsayılarak sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Şekil 3 ‘de elde edilen nümerik sonuçlara göre sıcaklık arttıkça diyaframın maksimum yerdeğiştirmesi artmaktadır ve diyaframın kenarlarına doğru yerdeğiştirmesi azalmaktadır. Teorik olarak da (Denk.5), Poly-Si diyafram için stress değeri büyüklük olarak arttığında diyaframın maksimum yerdeğiştirmesi de artmaktadır. Bu üç farklı sıcaklıkta Femtet analizleri sonuçları, Poly-Si diyaframın frekans cevabınının da sırasıyla 213.9 kHz, 213.8 kHz ve 213.8 kHz olduğunu göstermiştir.

Sıkıştırıcı gerilim olduğu durumlarda Si diyaframa göre daha hassas olmasına rağmen, Si ve Poly-Si malzemelerin özellikleri benzer olmasından dolayı, gerilme değeri -5 MPa değerine

yaklaştıkça Si ve Poly-Si diyaframların hassasiyet değerleri birbirine yakın değerler almaktadır. Denklem 2 ve Denklem 6'dan anlaşılacağı gibi, diyaframın yarıçapı arttıkça hassasiyet artarken, diyaframın kalınlığı arttıkça hassasiyet azalmaktadır. Diyafram üzerindeki gerilme değeri -80 MPa değerinden -5 MPa değerine değiştirildiğinde 100 µm çapında ve 3 µm kalınlığında Poly-Si diyafram 5.8-3.8 nm, 120 µm çapında ve 3 µm kalınlığında Poly-Si diyafram 16-8 nm ve 130 µm çapında ve 3 µm kalınlığında Poly-Si diyafram 27.1-11.1 nm aralığında hassaslığa sahip olmaktadır.

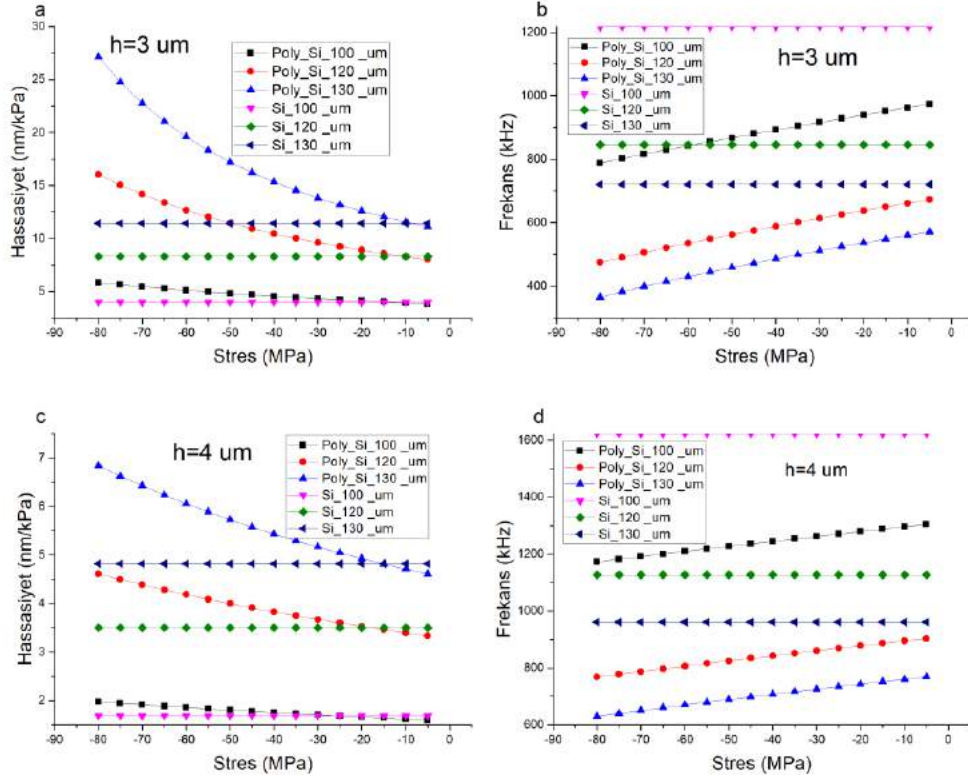
Şekil 2-(b)'de 3 µm kalınlığa sahip Poly-Si diyaframın frekans cevabına bakıldığında ise Si diyaframa göre daha düşük değerlere sahip olduğu anlaşılmıştır. Sıkıştırıcı gerilme değeri büyüklük (mutlak) olarak azaldıkça Poly-Si diyaframın frekans cevabında artmaktadır. Diyafram üzerindeki gerilme değeri -80 MPa değerinden -5 MPa değerine değiştirildiğinde 100 µm çapında ve 3 µm kalınlığında Poly-Si diyafram 788.3-962.3 kHz, 120 µm çapında ve 3 µm kalınlığında Poly-Si diyafram 475.2-661.3 kHz ve 130 µm çapında ve 3 µm kalınlığında Poly-Si diyafram 365.4-560.1 kHz aralığında frekans cevabına sahip olmaktadır. Kaplama şartlarının değiştirilerek Poly-Si üzerindeki oluşan ısıl gerilme değeri değiştirilebileceğinden (kontrol edilebileceğinden), Poly-Si malzemedeki oluşan FPI basınç sensörünün hassaslığı ve frekans cevabı da uygulamaya göre kontrol edilebilir. Şekil 2-(c) ve (d)'de 4 µm kalınlığa sahip Poly-Si diyafram için benzer sonuçlar elde edilmiştir. Ancak 4 µm kalınlığa sahip Poly-Si diyafram 3 µm'ye göre daha düşük hassasiyet değerlerine sahip iken daha yüksek frekans cevabına sahiptir. 4 µm kalınlığa sahip Poly-Si diyafram için hassaslık ve frekans cevabı Tablo 2'de gösterilmiştir.

Si₃Ni₄ diyaframında genel olarak germe eğilimli gerilmeler gözlemlendiği için elde edilen sonuçlar Poly-Si diyafram için elde edilen sonuçlar ile zıt özelliğe sahiptir. Şekil 4-(a) ve (c)'de 3 µm ve 4 µm kalınlığına sahip Si₃Ni₄ diyaframın hassasiyet değerleri gösterilmiştir. Diyafram üzerindeki gerilme değeri 1000 MPa değerinden 1750 MPa değerine değiştirildiğinde 100 µm çapında ve 4 µm kalınlığında Si₃Ni₄ diyafram 0.36-0.25 nm, 120 µm çapında ve 4 µm kalınlığında Si₃Ni₄ diyafram 0.59-0.39 nm ve 130 µm çapında ve 4 µm kalınlığında Si₃Ni₄ diyafram 0.73-0.48 nm aralığında hassaslığa sahiptir. Her iki kalınlıktaki diyafram içinde hassasiyet değerleri referans olarak kabul edilen Si diyaframa göre düşüktür. Gerilme arttıkça hassasiyet azalmaktadır.

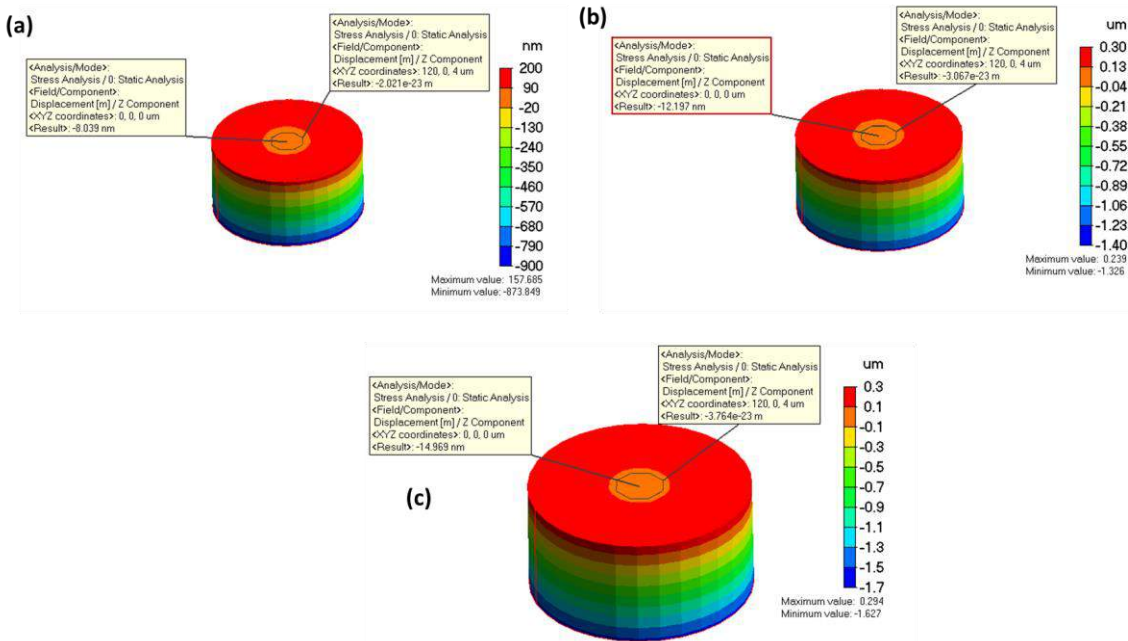
Şekil 4-(b) ve (d)'de 3 ve 4 µm kalınlığına sahip Si₃Ni₄ diyaframın frekans cevabına değerleri incelendiğinde gerilmeler arttıkça frekans değerinde daha yüksek değerlere ulaşmaktadır. Referans olan Si diyaframın frekans cevabından daha yüksek değerlerde frekans değerine sahiptir. Diyafram üzerindeki gerilme değeri 1000 MPa değerinden 1750 MPa değerine değiştirildiğinde 100 µm çapında ve 4 µm kalınlığında Si₃Ni₄ diyafram 2317.5-2747.1 kHz, 120 µm çapında ve 4 µm kalınlığında Si₃Ni₄ diyafram 1802.7-2181.8 kHz ve 130 µm çapında ve 4 µm kalınlığında Si₃Ni₄ diyafram 1622.1-1979.1 kHz aralığında frekans cevabına sahiptir. 3 µm kalınlığa sahip Si₃Ni₄ diyafram için hassaslık ve frekans cevabı Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2 İki farklı kalınlığa sahip üç diyaframın hassasiyet (nm/kPa) ve frekans (kHz) analizi

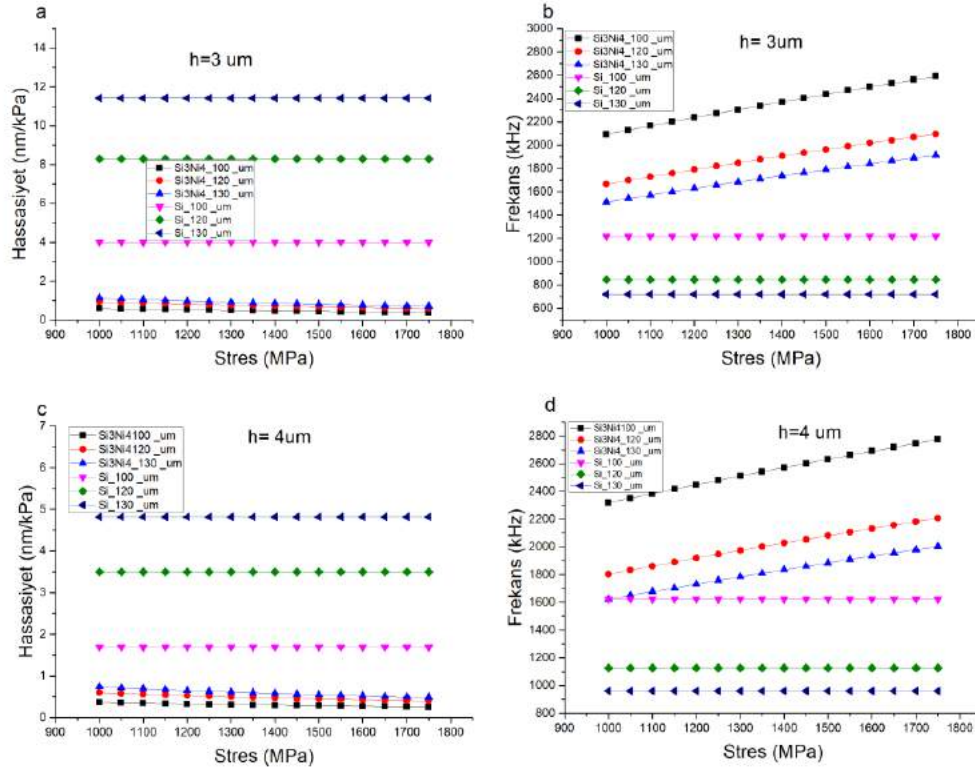
Hassasiyet (nm/kPa)						
r ₀ (µm)	h (µm)=3			h(µm)=4		
	Si	Poly-Si	Si ₃ Ni ₄	Si	Poly-Si	Si ₃ Ni ₄
100	4	5.8-3.8	0.59-0.38	1.7	1.97-1.59	0.36-0.25
120	8.3	16-8	0.93-0.58	3.5	4.61-3.3	0.59-0.39
130	11.4	27.1-11.1	1.13-0.7	4.8	6.83-4.6	0.73-0.48
Frekans Cevabı (kHz)						
r ₀ (µm)	h (µm)=3			h(µm)=4		
	Si	Poly-Si	Si ₃ Ni ₄	Si	Poly-Si	Si ₃ Ni ₄
100	1217.4	788.3-962.3	2093.1-2560.6	1623.2	1172.8-1296.1	2317.5-2747.1
120	845.4	475.2-661.3	1665-2069.5	1127.2	767.8-894.9	1802.7-2181.8
130	720.3	365.4-560.1	1511.5-1890	960.4	630.5-760	1622.1-1979.1



Şekil 2. Poly-Si diyaframın 3 μm ve 4 μm kalınlıklarında ve 100 μm , 120 μm ve 130 μm yarıçaplarında olması durumunda hassasiyet ve frekans analiz sonuçları. (a) 3 μm kalınlığındaki Poly-Si diyaframın hassasiyeti (nm/kPa), (b) 3 μm kalınlığındaki Poly-Si diyaframın frekans analiz sonucu, (c) 4 μm kalınlığındaki Poly-Si diyaframın hassasiyeti (nm/kPa), (d) 4 μm kalınlığındaki Poly-Si diyaframın frekans cevabı analiz sonucu (Poly_Si_ xxx_ um: Poly-Si diyaframın yarıçapı, Si_ xxx_ um: Si diyaframın yarıçapı)



Şekil 3. 500 μm kalınlığında Si alttaş üzerine (a) 600 $^{\circ}\text{C}$, (b) 900 $^{\circ}\text{C}$ ve (c) 1100 $^{\circ}\text{C}$ ' de 4 μm kalınlığında ve 120 μm yarıçapında Poly-Si kaplanması sonucu diyaframın maksimum yerdeğiştirmesinin sonlu elemanlar analizi ile değerlendirilmesi



Şekil 4. Si₃Ni₄ diyaframın 3 μm ve 4 μm kalınlıklarında ve 100 μm,120 μm ve 130 μm yarıçaplarında olması durumunda hassasiyet ve frekans analiz sonuçları. (a) 3 μm kalınlığındaki Si₃Ni₄ diyaframın hassasiyeti (nm/kPa),(b) 3 μm kalınlığındaki Si₃Ni₄ diyaframın frekans analiz sonucu ,(c) 4 μm kalınlığındaki Si₃Ni₄ diyaframın hassasiyeti (nm/kPa),(d) 4 μm kalınlığındaki Si₃Ni₄ diyaframın frekans analiz sonucu (Si₃Ni₄_xxx_μm: Si₃Ni₄ diyaframın yarıçapı, Si_ xxx_μm: Si diyaframın yarıçapı)

4. Sonuç

FPI basınç sensörleri için hassasiyet ve frekans cevabı, üretilen cihazın karakterizasyonunda sıklıkla değerlendirilen başlıca parametrelerdir. Ayrıca belirtmek gerekir ise ortamdaki basınç değişimi sonucu FPI diyaframında oluşan yerdeğiştirme arasındaki doğrusal ilişki içinde bu parametrelerin değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Diyaframın yerdeğiştirme miktarını ve frekans cevabını değiştirerek farklı uygulamalarda kullanmak için çeşitli geometrilere sahip diyafram tasarımı ve farklı malzemeler kullanılmaktadır. Bu çalışmada da diyaframların üretimi sırasında veya sensörün montajı (ambalajlanması) esnasında diyafram üzerinde oluşabilecek ısıl gerilmelerin FPI basınç sensörünün hassaslığına ve frekans cevabına olan etkisi teorik olarak incelenmiştir. Diyafram olarak Poly-Si ve Si₃Ni₄ seçilmiştir. Poly-Si diyaframda genellikle sıkıştırma (compressive) gerilime sahip olduğundan dolayı hesaplamalar -80 MPa ile -5 MPa aralığında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, sıkıştırma gerilmesi olan Poly-Si diyaframın Si diyaframa göre ortamdaki basınç değişimine karşı daha hassas olduğunu göstermiştir. Frekans cevabı ise Si diyaframa göre daha düşüktür. Si₃Ni₄ diyafram üzerinde germe (tensile) gerilmesi olduğu düşünüldüğünde elde edilen sonuçlar gerilme arttıkça diyaframın basınç değişimine gösterdiği hassasiyet azalmaktadır. Si₃Ni₄ diyaframı Si diyaframa göre daha düşük hassasiyete sahiptir. Ancak gerilme değerinin artması frekans değerinde

arttırmaktadır. Dolayısı ile Si₃Ni₄ diyaframı Si diyaframa göre daha yüksek frekans cevabına sahiptir. Sonuç olarak, geometrik tasarım ve malzeme çeşidine ek olarak diyafram üzerindeki ısıl gerilmeleri de göz önüne alarak farklı uygulamalar için sensörün hassasiyet ve frekans değeri değerlendirilebilir/ayarlanabilir.

5. Teşekkür

Yazar, sonlu elemanlar analizinde kullanılan Femtet yazılımının kullanımı ve destekleri için Murata Software Co.,Ltd'ye teşekkür eder.

Kaynakça

- A, N., & T, S. (2016). Design and Analysis of Perforated Si-Diaphragm Based Mems Pressure Sensor for Environmental Applications. *ICTACT Journal on Microelectronics*, 2(1), 209–215. <https://doi.org/10.21917/ijme.2016.0036>
- Bao, X., & Chen, L. (2012). Recent Progress in Distributed Fiber Optic Sensors. *Sensors (Switzerland)*, 12(7), 8601–8639. <https://doi.org/10.3390/s120708601>
- Barauskas, D.; Pelenis, D.; Vanagas, G.; Viržonis, D.; Baltrušaitis, J. (2019). Methylated Poly(ethylene)imine Modified Capacitive Micromachined Ultrasonic Transducer for Measurements of CO₂ and SO₂ in Their Mixtures. *Sensors*, 19.

- Bhat, K. N. (2007). Silicon micromachined pressure sensors. *Journal of the Indian Institute of Science*, 87(1), 115–131.
- Chandra Mukhopadhyay, S. (2015). Wearable Sensors for Human Activity Monitoring. *IEEE Sensors Journal*, 15(3), 1039–1040.
- Chattopadhyay, M., & Chowdhury, D. (2017). Design and performance analysis of MEMS capacitive pressure sensor array for measurement of heart rate. *Microsystem Technologies*, 23(9), 4203–4209. <https://doi.org/10.1007/s00542-016-2842-2>
- Chen, J., Cheng, X., Chen, C., Li, P., Liu, J., & Cheng, Y.-T. (2008). A Capacitive Micromachined Ultrasonic Transducer Array for Minimally Invasive Medical Diagnosis. *Journal of Microelectromechanical Systems*, 17(3), 599–610.
- Cheng, L., Liu, Q., Guo, T., Jun, X., Fan, S., & Wei, J. (2015). An ultra-high sensitivity Fabry-Perot acoustic pressure sensor using a multilayer suspended graphene diaphragm. 2015 IEEE SENSORS - Proceedings, (October). <https://doi.org/10.1109/ICSENS.2015.7370318>
- D. Giovanni. (1982). *Flat and Corrugated Diaphragm Design Handbook* (first ed.,). CRC Press.
- Dakin, J. P., Ecke, W., Schroeder, K., & Reuter, M. (2009). Optical fiber sensors using hollow glass spheres and CCD spectrometer interrogator. *Optics and Lasers in Engineering*, 47(10), 1034–1038. <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2009.05.005>
- Ertuğrul, İ., & Ülkir, O. (2020). MEMS Tabanlı Mikro Rezonatörün Tasarımı ve Analizi Design and Analysis of MEMS Based Micro Resonator, (18), 25–29.
- Fu, C., Si, W., Li, H., Li, D., Yuan, P., & Yu, Y. (2017). A novel high-performance beam-supported membrane structure with enhanced design flexibility for partial discharge detection. *Sensors* (Switzerland), 17(3). <https://doi.org/10.3390/s17030593>
- Ge, Y., Cai, K., Wang, T., & Zhang, J. (2018). MEMS pressure sensor based on optical Fabry-Perot interference. *Optik*, 165, 35–40. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2018.03.112>
- Gharaei, H., & Koohsorkhi, J. (2016). Design and characterization of high sensitive MEMS capacitive microphone with fungus coupled diaphragm structure. *Microsystem Technologies*, 22(2), 401–411. <https://doi.org/10.1007/s00542-014-2406-2>
- Hao, X., Tanaka, S., Masuda, A., Nakamura, J., Sudoh, K., Maenaka, K., ... Higuchi, K. (2014). Application of silicon on nothing structure for developing a novel capacitive absolute pressure sensor. *IEEE Sensors Journal*, 14(3), 808–815. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2013.2288681>
- Hayber, S. E., Tabaru, T. E., & Saracoglu, O. G. (2019). A novel approach based on simulation of tunable MEMS diaphragm for extrinsic Fabry-Perot sensors. *Optics Communications*, 430(August 2018), 14–23. <https://doi.org/10.1016/j.optcom.2018.08.021>
- Jensen, J. B., Pedersen, L. H., Hoiby, P. E., Nielsen, L. B., Hansen, T. P., Folkenberg, J. R., ... Bjarklev, A. (2004). Photonic crystal fiber based evanescent-wave sensor for detection of biomolecules in aqueous solutions. *Optics Letters*, 29(17), 1974. <https://doi.org/10.1364/ol.29.001974>
- Jiang, H., Cao, G., Xu, C., Zhang, Z., & Liu, S. (2014). Effects of residual stress in the membrane on the performance of surface micromachining silicon nitride pressure sensor. *Proceedings of the Electronic Packaging Technology Conference, EPTC*, 664–670. <https://doi.org/10.1109/ICEPT.2014.6922742>
- Jorgenson, R. C., & Yee, S. S. (1993). A fiber-optic chemical sensor based on surface plasmon resonance. *Sensors and Actuators: B. Chemical*, 12(3), 213–220. [https://doi.org/10.1016/0925-4005\(93\)80021-3](https://doi.org/10.1016/0925-4005(93)80021-3)
- Kersey, A. D., Davis, M. A., Patrick, H. J., LeBlanc, M., Koo, K. P., Askins, C. G., ... Friebele, E. J. (1997). Fiber grating sensors. *Journal of Lightwave Technology*, 15(8), 1442–1462. <https://doi.org/10.1109/50.618377>
- L.J. Ferna´ndez, E. Berenschot, J. Sese´, R. J. W., & J. Flokstra, H. V. J. and M. E. (2005). Fabrication of thick silicon nitride blocks for integration of RF devices. *Electronics Letters*, 41(2), 40–41. <https://doi.org/10.1049/el>
- Laconte J, Flandre D, R. J. (2006). *Micromachined thin-film sensors for SOI-CMOS co-integration*. Springer Berlin Heidelberg.
- Lee, B. (2003). Review of the present status of optical fiber sensors. *Optical Fiber Technology*, 9(2), 57–79. [https://doi.org/10.1016/S1068-5200\(02\)00527-8](https://doi.org/10.1016/S1068-5200(02)00527-8)
- Lee, B. H., Kim, Y. H., Park, K. S., Eom, J. B., Kim, M. J., Rho, B. S., & Choi, H. Y. (2012). Interferometric fiber optic sensors. *Sensors*, 12(3), 2467–2486. <https://doi.org/10.3390/s120302467>
- Lee, J. O., Narasimhan, V., Balakrishna, A., Smith, M. R., Du, J., Sretavan, D., & Choo, H. (2019). Fabry-Pérot Optical Sensor and Portable Detector for Monitoring High-Resolution Ocular Hemodynamics. *IEEE Photonics Technology Letters*, 31(6), 423–426. <https://doi.org/10.1109/LPT.2019.2896840>
- Lee, J. O., Park, H., Du, J., Balakrishna, A., Chen, O., Sretavan, D., & Choo, H. (2017). A microscale optical implant for continuous in vivo monitoring of intraocular pressure. *Microsystems and Nanoengineering*, 3(July), 1–9. <https://doi.org/10.1038/micronano.2017.57>
- Li, M., Wang, M., & Li, H. (2006). Optical MEMS pressure sensor based on Fabry-Perot interferometry. *Optics Express*, 14(4), 1497. <https://doi.org/10.1364/oe.14.001497>
- Li, Z., Liao, C., Wang, Y., Xu, L., Wang, D., Dong, X., ... Zhou, J. (2015). Highly-sensitive gas pressure sensor using twin-core fiber based in-line Mach-Zehnder interferometer. *Optics Express*, 23(5), 6673. <https://doi.org/10.1364/oe.23.006673>
- Liao, C., Liu, S., Xu, L., Wang, C., Wang, Y., Li, Z., ... Wang, D. N. (2014). Sub-micron silica diaphragm-based fiber-tip Fabry-Perot interferometer for pressure measurement. *Optics Letters*, 39(10), 2827. <https://doi.org/10.1364/ol.39.002827>
- Liu, S., Wang, Y., Liao, C., Wang, Y., He, J., Fu, C., ... Zhang, F. (2017). Nano silica diaphragm in-fiber cavity for gas pressure measurement. *Scientific Reports*, 7(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-00931-0>
- Ma, W., Jiang, Y., Hu, J., Jiang, L., & Zhang, T. (2020). Microelectromechanical system-based, high-finesse, optical fiber Fabry-Perot interferometric pressure sensors. *Sensors and Actuators, A: Physical*, 302, 111795. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2019.111795>
- Madhavi, K. Y., Sumithradevi, K. A., Krishna, M., & Vijayalakshmi, M. N. (2011). Analysis of square and circular diaphragms for a MEMS pressure sensor using a data mining tool. *Proceedings - 2011 International Conference on Communication Systems and Network Technologies, CSNT 2011*, (July), 258–261. <https://doi.org/10.1109/CSNT.2011.63>
- Mehmood, Z., Haneef, I., & Udrea, F. (2020). Material selection for optimum design of MEMS pressure sensors. *Microsystem Technologies*, 26(9), 2751–2766. <https://doi.org/10.1007/s00542-019-04601-1>
- Mihailov, S. J., Grobncic, D., Smelser, C. W., Lu, P., Walker, R. B.,

- & Ding, H. (2011). Bragg grating inscription in various optical fibers with femtosecond infrared lasers and a phase mask. *Optical Materials Express*, 1(4), 754. <https://doi.org/10.1364/ome.1.000754>
- Mishra, R. B., & Kumar, S. S. (2019). Pre-stressed Diaphragm based Capacitive Pressure Sensor for Blood Pressure Sensing Application. *Proceedings - 2018 2nd International Conference on Advances in Computing, Control and Communication Technology, IAC3T 2018*, 70–74. <https://doi.org/10.1109/IAC3T.2018.8674028>
- MTI Corporation. (n.d.). MTI Corporation. Retrieved from <https://www.mtixtl.com/index.aspx>
- Patrick, H. J., Williams, G. M., Kersey, A. D., Pedrazzani, J. R., & Vengsarkar, A. M. (1996). Hybrid fiber Bragg grating/long period fiber grating sensor for strain/temperature discrimination. *IEEE Photonics Technology Letters*, 8(9), 1223–1225. <https://doi.org/10.1109/68.531843>
- Qi, X., Wang, S., Jiang, J., Liu, K., Wang, X., Yang, Y., & Liu, T. (2019). Fiber Optic Fabry-Perot Pressure Sensor with Embedded MEMS Micro-Cavity for Ultra-High Pressure Detection. *Journal of Lightwave Technology*, 37(11), 2719–2725. <https://doi.org/10.1109/JLT.2018.2876717>
- Raskin, J. P., Brown, A. R., Khuri-Yakub, B. T., & Rebeiz, G. M. (2000). Novel parametric-effect MEMS amplifier. *Journal of Microelectromechanical Systems*, 9(4), 528–537. <https://doi.org/10.1109/84.896775>
- Somer, J., Szendiuch, I., & Urban, F. (2018). Optical pressure sensors for harsh environment. *EMPC 2017 - 21st European Microelectronics and Packaging Conference and Exhibition, 2018-Janua(September)*, 1–5. <https://doi.org/10.23919/EMPC.2017.8346868>
- Song, P., Ma, Z., Ma, J., Yang, L., Wei, J., Zhao, Y., ... Wang, X. (2020). Recent progress of miniature MEMS pressure sensors. *Micromachines*, 11(1). <https://doi.org/10.3390/mi11010056>
- Totsu, K., Haga, Y., & Esashi, M. (2005). Ultra-miniature fiber-optic pressure sensor using white light interferometry. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 15(1), 71–75. <https://doi.org/10.1088/0960-1317/15/1/011>
- Wang, R., Xie, X., Xu, X., Chen, X., & Xiao, L. (2019). Comparison of Measurements with Finite-Element Analysis of Silicon-Diaphragm-Based Fiber-Optic Fabry-Perot Temperature Sensors Rongkun.
- Wang, W., Wu, N., Tian, Y., Niezrecki, C., & Wang, X. (2010). Miniature all-silica optical fiber pressure sensor with an ultrathin uniform diaphragm. *Optics Express*, 18(9), 9006. <https://doi.org/10.1364/oe.18.009006>
- Wu, N., Tian, Y., Zou, X., Zhai, Y., Barringhaus, K., & Wang, X. (2013). A miniature fiber optic blood pressure sensor and its application in in vivo blood pressure measurements of a swine model. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 181, 172–178. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2013.02.002>
- Xu, B., Liu, Y., Wang, D., Jia, D., & Jiang, C. (2017). Optical fiber fabry-pérot interferometer based on an air cavity for gas pressure sensing. *IEEE Photonics Journal*, 9(2). <https://doi.org/10.1109/JPHOT.2017.2685939>
- Xu, F., Ren, D., Shi, X., Li, C., Lu, W., Lu, L., ... Yu, B. (2012). High-sensitivity Fabry-Perot interferometric pressure sensor based on a nanothick silver diaphragm. *Optics Letters*, 37(2), 133. <https://doi.org/10.1364/ol.37.000133>
- Yildiz, F., Matsunaga, T., & Haga, Y. (2016). CMUT arrays incorporating anodically bondable LTCC for small diameter ultrasonic endoscope. In *2016 IEEE 11th Annual International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems, NEMS 2016*. <https://doi.org/10.1109/NEMS.2016.7758198>
- Yildiz, F., Matsunaga, T., & Haga, Y. (2018). Fabrication and packaging of CMUT using low temperature co-fired ceramic. *Micromachines*, 9(11). <https://doi.org/10.3390/mi9110553>
- Yildiz, F., Matsunaga, T., & Haga, Y. (2016). Capacitive micromachined ultrasonic transducer arrays incorporating anodically bondable low temperature co-fired ceramic for small diameter ultrasonic endoscope. *Micro and Nano Letters*, 11(10), 627–631. <https://doi.org/10.1049/mnl.2016.0281>
- Yildiz, Fikret. (2018). Capacitive Micromachined Ultrasonic Transducer (CMUT): Analytical Evaluation of Membranes Performance Under Fabrication Related Stress. *Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences*, 21(3), 217–225.
- Yin, J., Liu, T., Jiang, J., Liu, K., Wang, S., Qin, Z., & Zou, S. (2014). Batch-producible fiber-optic fabry-pérot sensor for simultaneous pressure and temperature sensing. *IEEE Photonics Technology Letters*, 26(20), 2070–2073. <https://doi.org/10.1109/LPT.2014.2347055>
- Zhang, W., Zhang, H., Du, F., Shi, J., Jin, S., & Zeng, Z. (2015). Pull-In Analysis of the Flat Circular CMUT Cell Featuring Sealed Cavity. *Mathematical Problems in Engineering*, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/150279>
- Zhang, Y., Yuan, L., Lan, X., Kaur, A., Huang, J., & Xiao, H. (2013). High-temperature fiber-optic Fabry-Perot interferometric pressure sensor fabricated by femtosecond laser. *Optics Letters*, 38(22), 4609. <https://doi.org/10.1364/ol.38.004609>



Total Phenolic Contents, Antioxidant Activities and Antioxidant Capacities of Some Selected Pepper (*Capsicum Annuum L.*) Pulps and Seeds

Hatice Kavuncuoğlu^{1*}, Tuğba Dursun Çapar¹, Hasan Yalçın¹

^{1*} Erciyes University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, Kayseri, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3315-771X), haticetk@erciyes.edu.tr

¹ Erciyes University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, Kayseri, Turkey, (ORCID: 0000-0002-1075-0054), tugbadursun@erciyes.edu.tr

¹ Erciyes University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, Kayseri, Turkey, (ORCID: 0000-0002-1038-1877), hycalcin@erciyes.edu.tr

(First received 15 September 2020 and in final form 31 January 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.793148)

ATIF/REFERENCE: Kavuncuoğlu, H., Dursun Çapar, T. & Yalçın, H. (2021). Total Phenolic Contents, Antioxidant Activities and Antioxidant Capacities of Some Selected Pepper (*Capsicum Annuum L.*) Pulps and Seeds. *European Journal of Science and Technology*, (21), 581-586.

Abstract

Pepper (*Capsicum annuum L.*) contains a wide range of bioactive nutrients that have antioxidant properties. Recently, the waste of peppers, namely the seeds, has attracted interest due to their economical, biological, and chemical importance. Accordingly, the total phenolic content, antioxidant activity, and antioxidant capacity were determined in four different peppers and their seeds, as well as the effects of different extraction solvents. The total phenolic content of pepper pulp and seed extracts was detected by using the Folin-Ciocalteu method, the antioxidant activity was assessed by the 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) method, and the antioxidant capacity was implemented by phosphomolybdenum reduction method. The results indicated that the extraction solvent significantly affected the antioxidant properties, whereas water extraction showed the highest values. The highest values in phenolic content, antioxidant activity, and antioxidant capacity were observed in green pepper (515.85 mg GAE/g dry extract), charleston pepper (362.48 mg AAE/g dry extract), and capia pepper pulps (95.25 %), respectively. Also, the antioxidant activities of the examined pepper pulp and seeds showed a good correlation with their total phenolic content.

Keywords: Phenolic, antioxidant, *Capsicum annuum L.*, pulp, seed.

Bazı Biber (*Capsicum Annuum L.*) Posa ve Çekirdeklerinin Toplam Fenolik İçerik, Antioksidan Aktivite ve Antioksidan Kapasitelerinin Belirlenmesi

Öz

Biber (*Capsicum annuum L.*), antioksidan özelliklere sahip çeşitli biyoaktif maddeler ihtiva etmektedir. Son zamanlarda, atık olarak değerlendirilen biber çekirdeği ekonomik, biyolojik ve kimyasal önemi nedeniyle ilgi çekmektedir. Bu çalışma kapsamında dört farklı biber çeşidinin posa ve çekirdeklerinde toplam fenolik madde, antioksidan aktivite ve antioksidan kapasite analizleri ve farklı ekstraksiyon solventlerinin bu analizler üzerine etkisi incelenmiştir. Biber posa ve çekirdek ekstraktlarının toplam fenolik içeriği Folin-Ciocalteu yöntemi ile, antioksidan aktivitesi 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) yöntemi ile ve antioksidan kapasitesi fosfomolibdenum indirgeme testi ile tayin edilmiştir. Elde edilen bulgular, ekstraksiyon solventinin antioksidan özellikleri önemli ölçüde etkilediğini, su ekstraksiyonunda ise en yüksek değerlerin gözlemlendiğini ortaya koymuştur. Fenolik içerik, antioksidan aktivite ve antioksidan kapasite açısından en yüksek değerler sırasıyla yeşil biber (515.85 mg GAE/g kuru ekstrakt), çarliston biber (362.48 mg AAE/g kuru ekstrakt) ve kalya biber posalarında (% 95.25) gözlemlenmiştir. Ayrıca, analiz edilen biber posa ve çekirdeklerinde antioksidan aktivite değerleri, toplam fenolik içerikleri ile iyi bir korelasyon göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Fenolik, antioksidan, *Capsicum annuum L.*, posa, çekirdek.

* Corresponding Author: haticetk@erciyes.edu.tr

1. Introduction

Pepper (*Capsicum spp*) is a member of the Solanaceae family and is an essential crop due to it is being an excellent source of vitamin C, carotenoids, and other biofunctional and antioxidant compounds. Pepper has been reported to have the highest content of vitamin C (Lee & Kader, 2000). Additionally, the different colours of the pepper derive from the carotenoid pigments produced during the ripening of fruit. They act as antioxidants and prevent the harmful effect of free radicals and molecular oxygen from promoting good health (Namiki, 1990). Peppers are a good source of polyphenols, especially flavonoids, quercetin, and luteolin (Chuah et al., 2008; Materska & Perucka, 2005). The antioxidant activity of phenolics is related to their role as a reducing agent, hydrogen donor, and singlet oxygen quencher (N Deepa et al., 2007). The delay or inhibit autoxidation by acting as radical scavengers (Namiki, 1990). The consumption of these compounds in foods has been recognized as beneficial for human health and reduces the risk of cancer, cardiovascular and other chronic diseases (Cui et al., 2007; Yahia & Ornelas-Paz, 2010).

As the chemical structures of the bioactive compounds found in peppers are different, the extraction solvent significantly alters the obtained compounds and their activities. In previous research, to measure antioxidant activity by extracting phenolics dichloromethane, acetone, methanol, ethanol, and 80 % methanol were used as solvents. (Daood et al., 2006; Marín et al., 2004; Materska & Perucka, 2005). Pepper has various polar compounds, and the antioxidant capacity of the extract changes according to the solvent used. Therefore, the proper extraction solvents should be used to detect the antioxidant capacity of pepper pulp and pepper seed.

Every year the food industry generates millions of tons of waste products from fruits and vegetables (492 million tons) (Gustavsson et al., 2011). These waste products can be considered as by-products. Nearly all of them consist of nutritional and functional constituents such as vitamins, pigments, antioxidants, and antimicrobials, etc. (Louli et al., 2004). One of these valuable waste products is pepper seed. Pepper seeds provide bioactive compounds and beneficial health effects (Luis R Silva et al., 2013). Studies of the antioxidant activities of different pepper pulp and seeds are more limited compared to other fruits and plants. Therefore, in this research, we investigated total phenolic contents, antiradical activities, and antioxidant capacities of four different types of pepper (Capia, Green, Charleston, and Mazamort) and their seed extracts by using ethanol, methanol, and water.

2. Material and Method

2.1. Plant Material

Four varieties of pepper (*Capsicum annuum L.*) pulps and pepper (*Capsicum annuum L.*) seeds, namely Capia Pepper Pulp (CPP), Green Pepper Pulp (GPP), Charleston Pepper Pulp (CPP), Mazamort Pepper Pulp (MPP), and these pepper seeds (CPS, GPS, CPS, MPS, respectively), were obtained from producers in Kayseri (Turkey).

2.2. Sample extraction for antioxidative tests

The dried samples were ground and mixed with ethanol, methanol, and water for 24 hours at 25°C in the dark. The homogenates were centrifuged (Hettich, Universal 320, Deutschland) at 4100 rpm for 15 minutes then filtrated through Whatman 2 filter paper. After these treatments, the supernatants were evaporated using a rotary evaporator (Rotavapor R-200, Büchi, Switzerland) under vacuum at 45°C. The dry extracts were obtained, and analyzes were immediately applied.

2.3. Methods

2.3.1. Evaluation of total phenolic content by Folin-Ciocalteu colourimetric method

The amount of phenolic compounds in 4 pepper pulps and seeds extracts was detected by the Folin-Ciocalteu colourimetric method. To 40 µL of each sample, 2400µL distilled water and 200µL Folin-Ciocalteu reagent were mixed and kept for 5 minutes. Then, 600µL sodium carbonate at 20% concentration and 760µL distilled water was added to the tube. The resulting mixture is homogenized and incubated for 2 hours at room temperature in the dark. Then, the absorbance of the blue complex was monitored at 765 nm (Yalcin & Kavucuoglu, 2014). The results were exhibited as gallic acid equivalents (GAE) in milligrams per gram dry extract.

2.3.2. Evaluation of antiradical activity by DPPH Radical Scavenging Activity

The DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) radical scavenging activity assay was measured using the method of Polat et al. (2014) with some modification. Pepper pulp and seed extracts (100µL) stirred with 3500µL DPPH methanol solution and extract react with DPPH solution for 30 minutes in the dark. Then the absorbance was monitored at 517 nm. Absorbance is zeroed with methanol.

2.3.3. Evaluation of total antioxidant capacity by phosphomolybdenum method

The total antioxidant capacity by the phosphomolybdenum method was determined spectrophotometrically using the method of Polat et al. (2014). The reactive solution was prepared with 0.6 M sulfuric acid, 28 mM sodium phosphate, and 4 mM ammonium molybdate, and 400 ml of extract was mixed with 4 ml of reagent solution rapidly. After homogenization, the solution was kept at 95°C for 90 minutes. Then, the absorbance was monitored at 695 nm. The results were exhibited as ascorbic acid equivalents (AAE) in milligrams per gram of dry extract.

2.3.4. Statistical analysis

Data evaluation was carried out by the two-way analysis of variance (ANOVA) procedure with statistical analysis software (SigmaPlot 11.0). The Tukey, multiple range test, was used for comparison of the means to find the effects of extraction solvents and pepper types and their interaction for various parameters in the different experiments.

3. Results

3.1. Total phenolic content of pepper pulps and pepper seeds

There is excellent interest in phenolic compounds owing to their antioxidant activity. Because antioxidants have a protective effect against free radicals, which cause serious health problems such as cancer and cardiovascular diseases (Ghasemnezhad et al., 2011). Additionally, the effect of pepper extracts to prevent lipid oxidation was examined, and extracts were effective chiefly because of the presence of phenolic compounds (Alvarez-Parrilla et al., 2012).

The total phenolic contents (TPC) of the pepper pulp extracts (CPP, GPP, CPP, MPP) and these pepper seed extracts (CPS, GPS, CPS, MPS, respectively) with ethanol, methanol, and water were shown in Table 1. In general, the previous studies reported that the solvent and plant variety used in extraction had a significant ($p < 0.05$) effect on the total phenolic content of the samples, statistically. When considering almost all samples, the total amounts of phenolic compounds were determined based on solvents with the following order: ethanol < methanol < water. Bae et al. (2012) found that the total phenolic content of extracts obtained with ethyl acetate was higher than methanol or aqueous methanol, ethyl acetate, and acetone extracts showed statistically similar results.

The phenolic contents ranged from 32.78 - 95.86 $\mu\text{g GAE/g}$ in seeds and 75.97 - 124.87 $\mu\text{g GAE/g}$ in pulps among ethanolic extracts, from 73.43 - 195.36 $\mu\text{g GAE/g}$ in seeds and 117.45 - 243.83 $\mu\text{g GAE/g}$ in pulps among methanolic extracts, 189.85 - 344.51 $\mu\text{g GAE/g}$ in seeds and 323.82 - 515.85 $\mu\text{g GAE/g}$ in pulps among water extracts. The total phenolics were expressed in the

range of 33 - 250 mg GAE/100 g FW for different *Capsicum annum L.* (Alvarez-Jubete et al., 2010; Oboh & Rocha 2006). In another study, the total phenolic contents were specified between 1078.26 - 4992.40 mg GAE/100 g FW of nine peppers (Zhuang et al., 2012). In comparison, all samples were significantly different in the seeds ($p < 0.05$), ethanolic extracts of GPP and CPP were not different from one another, statistically ($p > 0.05$). Significant differences were found between the pulp and seeds of the peppers except for capia peppers between ethanolic and methanolic extracts ($p < 0.05$). GPP indicated significantly higher total phenolic contents than the other pepper pulp extracts ($p < 0.05$).

In previous researches, the total phenolic contents of the diverse parts of the peppers were significantly different. For example, in a study, the amount of phenolic substance in the stalk extract was determined as 71.34 mg GAE/g dw, while it was determined as 52.27 mg GAE/g dw in pericarp and 64.07 mg GAE/g dw in the placenta (Chen & Kang, 2013). The total phenolic content was found as 1359 ± 148 g GAE/g in the fresh sample (Vega-Gálvez et al., 2009), 29.10 ± 0.18 mg g^{-1} as GAE in capia pepper seed extracts (Sim & Sil, 2008) and 186 - 1122 mg 100 g^{-1} as GAE in the different genotypes of sweet green peppers (N. Deepa et al., 2007). The results of previous research regarding total phenolic contents have been noticed in the literature for other *Capsicum* varieties. While some are similar, others are higher or lower than our results. These differences may be caused by product-based changes such as environmental conditions or maturity because of the activity of peroxides, being fresh or dehydrated, as well as the solvent used in extraction and method differences (Hervert-Hernandez et al., 2010).

Table 1. Total phenolic contents of four pepper pulps and seeds (mg GAE^a/g dry extract)

Type	Ethanol	Methanol	Water	
CPP	75.97 ^{Cd} \pm 2.45	194.67 ^{Bc} \pm 2.86	402.98 ^{Ag} \pm 14.50	224.54^y
GPP	124.87 ^{Ca} \pm 1.18	233.29 ^{Bf} \pm 4.03	515.85 ^{Aa} \pm 0.34	291.34^x
CPP	116.40 ^{Ca} \pm 2.45	243.83 ^{Ba} \pm 1.96	468.80 ^{Ah} \pm 3.59	276.34^x
MPP	86.47 ^{Cde} \pm 3.24	117.45 ^{Bc} \pm 5.86	323.82 ^{Ac} \pm 2.93	175.91^z
CPS	81.65 ^{Cd} \pm 1.21	195.36 ^{Be} \pm 1.90	308.72 ^{Ad} \pm 2.29	195.29^{yz}
GPS	66.39 ^{Cc} \pm 2.94	125.46 ^{Bc} \pm 4.79	263.29 ^{Ac} \pm 2.82	151.71^z
CPS	95.86 ^{Ce} \pm 1.12	142.69 ^{Bd} \pm 1.24	344.51 ^{Af} \pm 1.56	194.35^{yz}
MPS	32.78 ^{Cb} \pm 2.60	73.43 ^{Bb} \pm 2.56	189.85 ^{Ab} \pm 5.39	98.69^t
	85.05^Z	165.77^Y	352.23^X	

*Values in the column with different lowercase letters are significantly different at $p < 0.05$.

*Values in the row with different capital letters are significantly different at $p < 0.05$.

a GAE = gallic acid equivalents.

3.2. Antioxidant capacity of pepper pulps and pepper seeds

The antioxidant properties of fruits and vegetables have great importance in revealing the nutritional value (Ornelas-Paz et al., 2013). The antioxidant capacity (AC) of pepper pulps and pepper seeds was assessed using the phosphomolybdenum reduction method (Table 2). The extraction solvent had a significant effect on the AC of samples ($p < 0.05$). Antioxidant capacity showed a

comparatively moderate correlation with total phenolic components ($r = 0.430$). In our study, the antioxidant capacity of pepper pulps and pepper seeds ranged from 72.31 to 362.48 mg AAE/ g dry extract and from 51.83 to 183.41 mg AAE/ g dry extract, respectively.

Overall, regards total phenolic contents, water extracts were revealed to have better AC. Similar to our findings, Azeez et al. (2008) found the AC of black pepper as 443.67 moles ascorbic acid equivalents/ g for water extract and as 119.08 moles ascorbic acid equivalents/ g for ethanol extract. The methanol and ethanol extraction solvents obtained the second and third highest values. The highest values of antioxidant activity for ethanol, methanol, and water were 129.22 – 173.28 – 362.48 mg AAE/ g dry extract, respectively, while the lowest values were 80.95 – 51.83 – 105.82 mg AAE/g dry extract respectively.

Brito-Vega et al. (2014) determined the AC of *Capsicum annum* and *Capsicum annum var. glabriusculum* as 5.56±0.58 mg AAE/g FW and 6.79±0.43 mg AAE/g FW respectively. Biswas et al. (2011) evaluated 20 germplasm of pepper for AC and 23.59- 34.25 as vitamin C equivalents mg/g dry weight. This significant disparity in results may be due to differences in varieties.

Table 2. Antioxidant capacity of four pepper pulps and seeds (mg AAE^b/g dry extract)

Type	Ethanol	Methanol	Water	
CPP	91.14 ^{Bb} ± 0.82	131.27 ^{Ac} ± 11.66	137.00 ^{Ac} ± 2.59	119.80^{VZ}
GPP	90.36 ^{Bb} ± 2.47	102.59 ^{Bd} ± 7.23	136.93 ^{Ac} ± 5.19	109.96^{VZ}
CPP	80.95 ^{Cb} ± 8.40	106.17 ^{Bd} ± 7.78	362.48 ^{Aa} ± 9.31	183.20^X
MPP	106.14 ^{Bb} ± 3.07	72.31 ^{Cc} ± 3.10	126.91 ^{Ac} ± 1.44	101.79^{VZ}
CPS	129.22 ^{Ca} ± 6.73	173.28 ^{Aa} ± 17.64	146.45 ^{Bd} ± 1.90	149.65^{XY}
GPS	84.38 ^{Ccb} ± 1.73	113.56 ^{Bd} ± 9.38	183.41 ^{Ac} ± 2.53	127.11^{VZ}
CPS	90.42 ^{Bb} ± 1.96	82.16 ^{Bc} ± 0.70	133.12 ^{Ac} ± 1.23	101.90^{VZ}
MPS	83.54 ^{Bcb} ± 1.88	51.83 ^{Cb} ± 1.97	105.82 ^{Ab} ± 1.21	80.40^Z
	94.52^y	104.15^y	166.52^x	

*Values in the column with different lowercase letters are significantly different at p < 0.05.

*Values in the row with different capital letters are significantly different at p < 0.05.

b AAC = ascorbic acid equivalents

3.3. Antioxidant activity of pepper pulps and pepper seeds

The antioxidant activity (AA) of pepper pulps and pepper seeds extracted by different solvents was tested by the DPPH free radical scavenging method, which displays a deep purple colour with absorption at 517 nm (Table 3.). Antioxidants can react with DPPH free radicals, turning them into colourless components. Also, the DPPH analysis, the dpph method, is widely used in antioxidant research due to its rapid results (Amarowicz et al., 2004). This method has commonly been implemented to evaluate the antioxidant capacity of peppers, and a concentration-dependent activity was noticed (L. R. Silva et al., 2013)

Pepper pulps and pepper seeds demonstrated the inhibition of DPPH radical scavenging activity between 28.59 – 95.25% and 10.54 – 41.18%, respectively. As a consequence, although all analyzed pepper pulps and pepper seeds indicated AA, the pepper pulps were a remarkably more robust scavenger of DPPH radicals. The water extract of CPP showed the highest DPPH-scavenging activity (95.25%), followed by the water extract of GPP and methanol extract of CPP with 85.90% and 85.16%. The inhibition of the water extract of MPS was the lowest at 10.54%.

No statistical differences in AC were found between CPP and GPS ethanolic and methanolic extracts.

Nazzaro et al. (2009) examined the DPPH scavenging activity of two peppers and expressed them as 11.7% and 21.5%. N. Deepa et al. (2007) expressed that according to the results of DPPH analysis, the capia pepper showed between 20% and 72% inhibition compared to the control. The results obtained in our work agree with those found previously with several peppers aqueous extract. Unlike other studies, the effect of extraction solvent on the results was demonstrated.

Regression analysis between AA and TPC exhibit a linear correlation (p<0.05). The high correlation coefficient (r = 0.731) displays that phenolic amounts are associated with their antioxidant activity of pepper pulp and pepper seed. This statistically significant correlation was consistent with the results of other studies. (Bae et al., 2014; Ornelas-Paz et al., 2013; Sim & Sil, 2008).

Table 3. Radical scavenging activity of four pepper pulps and seeds (inhibition %)

Type	Ethanol	Methanol	Water	
CPP	80.83 ^{Ca} ± 0.31	85.16 ^{Ba} ± 1.24	95.25 ^{Aa} ± 0.06	87.08^x
GPP	40.79 ^{Be} ± 0.92	38.07 ^{Cdc} ± 0.78	85.90 ^{Ag} ± 1.62	54.92^y
CPP	31.64 ^{Bd} ± 0.63	29.77 ^{Bc} ± 0.56	46.06 ^{Ac} ± 1.44	35.82^z
MPP	28.59 ^{Cd} ± 4.62	41.01 ^{Be} ± 0.88	54.29 ^{Af} ± 2.50	41.30^z
CPS	32.82 ^{Bd} ± 0.82	35.26 ^{Ad} ± 1.48	24.06 ^{Cc} ± 0.95	30.71^{zt}
GPS	29.67 ^{Bd} ± 1.06	30.34 ^{Bc} ± 0.47	41.18 ^{Ad} ± 2.06	33.73^z
CPS	18.59 ^{Bc} ± 0.31	17.83 ^{Bb} ± 0.77	25.39 ^{Ac} ± 1.37	20.60^{ta}
MPS	13.93 ^{Bb} ± 0.56	19.80 ^{Ab} ± 0.93	10.54 ^{Cb} ± 0.18	14.75^q
	34.61^Y	37.16^Y	47.83^X	

*Values in the column with different lowercase letters are significantly different at $p < 0.05$.

*Values in the row with different capital letters are significantly different at $p < 0.05$.

4. Conclusions and Recommendations

The antioxidant properties of four different pepper pulp and seed extracts were assessed with three different methods and three different solvents. Analysis indicated that all extracts showed antioxidant activity. When all is taken into consideration, the antioxidant properties of water extracts were better than extracts derived from ethanol and methanol. Generally, it was observed that the results obtained from the pulps of peppers were better than the results obtained from the seeds, except for the phosphomolybdenum reduction method. Overall, DPPH radical scavenging activity results in different pepper extracts were highly consistent with the total phenolic results. At the same time, antioxidant capacity with the phosphomolybdenum reduction method showed a comparatively moderate correlation with total phenolic components. The data can be used for further research to promote individual phenolic compounds in pepper extracts. On the other hand, in vivo studies should be conducted to reveal the mechanisms of action as antioxidants better.

References

- Alvarez-Jubete, L., Wijngaard, H., Arendt, E. K., & Gallagher, E. (2010). Polyphenol composition and in vitro antioxidant activity of amaranth, quinoa buckwheat and wheat as affected by sprouting and baking. *Food Chemistry*, 119(2), 770-778. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.07.032>
- Alvarez-Parrilla, E., de la Rosa, L. A., Amarowicz, R., & Shahidi, F. (2012). Protective effect of fresh and processed Jalapeño and Serrano peppers against food lipid and human LDL cholesterol oxidation. *Food Chemistry*, 133(3), 827-834. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.01.100>
- Amarowicz, R., Pegg, R. B., Rahimi-Moghaddam, P., Barl, B., & Weil, J. A. (2004). Free-radical scavenging capacity and antioxidant activity of selected plant species from the Canadian prairies. *Food Chemistry*, 84(4), 551-562. [https://doi.org/10.1016/s0308-8146\(03\)00278-4](https://doi.org/10.1016/s0308-8146(03)00278-4)
- Azeez, S., Reshmi, K., Vipin, T., & Leela, N. (2008). A Comparative Study on The Antioxidant Potential of the Extracts of a Few Major Spices. *Sustainable Utilization of Tropical Plant Biomass*, 120.
- Bae, H., Jayaprakasha, G. K., Crosby, K., Yoo, K. S., Leskovar, D. I., Jifon, J., & Patil, B. S. (2014). Ascorbic acid, capsaicinoid, and flavonoid aglycone concentrations as a function of fruit maturity stage in greenhouse-grown peppers. *Journal of Food Composition and Analysis*, 33(2), 195-202. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2013.11.009>
- Bae, H., Jayaprakasha, G. K., Jifon, J., & Patil, B. S. (2012). Variation of antioxidant activity and the levels of bioactive compounds in lipophilic and hydrophilic extracts from hot pepper (*Capsicum* spp.) cultivars. *Food Chem*, 134(4), 1912-1918. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.03.108>
- Biswas, A., Bhattacharya, A., Chattopadhyay, A., Chakravarty, A., & Pal, S. (2011). Antioxidants and antioxidant activity in green pungent peppers. *International Journal of Vegetable Science*, 17(3), 224-232. <https://doi.org/10.1080/19315260.2010.543451>
- Brito-Vega, H., Rodríguez-Maturino, A., González-Mendoza, D., Grimaldo-Juarez, O., & Cecaña-Duran, C. (2014). Antioxidant activity and total carotenoids of selected capsicum species from Tabasco, Mexico. *Research on Crops*, 15(2), 432-436.
- Chen, L., & Kang, Y.-H. (2013). Anti-inflammatory and antioxidant activities of red pepper (*Capsicum annuum* L.) stalk extracts: Comparison of pericarp and placenta extracts. *Journal of Functional Foods*, 5(4), 1724-1731. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2013.07.018>
- Chuah, A. M., Lee, Y.-C., Yamaguchi, T., Takamura, H., Yin, L.-J., & Matoba, T. (2008). Effect of cooking on the antioxidant properties of coloured peppers. *Food Chemistry*, 111(1), 20-28. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.03.022>
- Cui, Y., Lu, Z., Bai, L., Shi, Z., Zhao, W. E., & Zhao, B. (2007). beta-Carotene induces apoptosis and up-regulates peroxisome proliferator-activated receptor gamma expression and reactive oxygen species production in MCF-7 cancer cells. *Eur J Cancer*, 43(17), 2590-2601. <https://doi.org/10.1016/j.ejca.2007.08.015>
- Daood, H. G., Kapitány, J., Biacs, P., & Albrecht, K. (2006). Drying temperature, endogenous antioxidants and capsaicinoids affect carotenoid stability in paprika (red pepper spice). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(14), 2450-2457. <https://doi.org/10.1002/jsfa.20639>

- Deepa, N., Kaur, C., George, B., Singh, B., & Kapoor, H. (2007). Antioxidant constituents in some sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes during maturity. *LWT-Food Science and Technology*, 40(1), 121-129. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.09.016>
- Deepa, N., Kaur, C., George, B., Singh, B., & Kapoor, H. C. (2007). Antioxidant constituents in some sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes during maturity. *LWT - Food Science and Technology*, 40(1), 121-129. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.09.016>
- Ghasemnezhad, M., Sherafati, M., & Payvast, G. A. (2011). Variation in phenolic compounds, ascorbic acid and antioxidant activity of five coloured bell pepper (*Capsicum annuum*) fruits at two different harvest times. *Journal of Functional Foods*, 3(1), 44-49. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2011.02.002>
- Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., Van Otterdijk, R., & Meybeck, A. (2011). Global food losses and food waste. *Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rom*.
- Hervert-Hernandez, D., Sayago-Ayerdi, S. G., & Goni, I. (2010). Bioactive compounds of four hot pepper varieties (*Capsicum annuum* L.), antioxidant capacity, and intestinal bioaccessibility. *J Agric Food Chem*, 58(6), 3399-3406. <https://doi.org/10.1021/jf904220w>
- Lee, S. K., & Kader, A. A. (2000). Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest biology and technology*, 20(3), 207-220. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(00\)00133-2](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(00)00133-2)
- Louli, V., Ragoussis, N., & Magoulas, K. (2004). Recovery of phenolic antioxidants from wine industry by-products. *Bioresource technology*, 92(2), 201-208. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2003.06.002>
- Marín, A., Ferreres, F., Tomás-Barberán, F. A., & Gil, M. I. (2004). Characterization and quantitation of antioxidant constituents of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of agricultural and food chemistry*, 52(12), 3861-3869. <https://doi.org/10.1021/jf0497915>
- Materska, M., & Perucka, I. (2005). Antioxidant activity of the main phenolic compounds isolated from hot pepper fruit (*Capsicum annuum* L.). *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(5), 1750-1756. <https://doi.org/10.1021/jf035331k>
- Namiki, M. (1990). Antioxidants/antimutagens in food. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 29(4), 273-300. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10408399009527528>
- Nazzaro, F., Caliendo, G., Arnesi, G., Veronesi, A., Sarzi, P., & Fratianni, F. (2009). Comparative Content of Some Bioactive Compounds in Two Varieties of *Capsicum Annuum* L. Sweet Pepper and Evaluation of Their Antimicrobial and Mutagenic Activities. *Journal of Food Biochemistry*, 33(6), 852-868. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4514.2009.00259.x>
- Oboh, G., & Rocha, J. B. T. (2006). Polyphenols in red pepper [*Capsicum annuum* var. *aviculare* (Tepin)] and their protective effect on some pro-oxidants induced lipid peroxidation in brain and liver. *European Food Research and Technology*, 225(2), 239-247. <https://doi.org/10.1007/s00217-006-0410-1>
- Ornelas-Paz, J. d. J., Cira-Chávez, L. A., Gardea-Béjar, A. A., Guevara-Arauz, J. C., Sepúlveda, D. R., Reyes-Hernández, J., & Ruiz-Cruz, S. (2013). Effect of heat treatment on the scavenging activity in pungent and non-pungent peppers. *Food Research International*, 50(2), 519-525. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.01.006>
- Polat, B., Oba, S., Karaman, K., Arici, M., & Sagdic, O. (2014). Comparison of different solvent types for determination biological activities of myrtle berries collected from Turkey. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 6(2), 221-227.
- Silva, L. R., Azevedo, J., Pereira, M. J., Valentao, P., & Andrade, P. B. (2013). Chemical assessment and antioxidant capacity of pepper (*Capsicum annuum* L.) seeds. *Food Chem Toxicol*, 53, 240-248. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2012.11.036>
- Silva, L. R., Azevedo, J., Pereira, M. J., Valentão, P., & Andrade, P. B. (2013). Chemical assessment and antioxidant capacity of pepper (*Capsicum annuum* L.) seeds. *Food and Chemical Toxicology*, 53, 240-248. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2012.11.036>
- Sim, K. H., & Sil, H. Y. (2008). Antioxidant activities of red pepper (*Capsicum annuum*) pericarp and seed extracts. *International Journal of Food Science & Technology*, 43(10), 1813-1823. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2008.01715.x>
- Vega-Gálvez, A., Di Scala, K., Rodríguez, K., Lemus-Mondaca, R., Miranda, M., López, J., & Perez-Won, M. (2009). Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red pepper (*Capsicum annuum*, L. var. Hungarian). *Food Chemistry*, 117(4), 647-653. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.04.066>
- Yalcin, H., & Kavucuoglu, H. (2014). Physical, chemical and bioactive properties of onion (*Allium cepa* L.) seed and seed oil. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 87.
- Zhuang, Y., Chen, L., Sun, L., & Cao, J. (2012). Bioactive characteristics and antioxidant activities of nine peppers. *Journal of Functional Foods*, 4(1), 331-338. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2012.01.001>



Tarihsel Depremler ve Kullanılan Yöntemler

Mehveş Feyza Akkoyunlu^{1*}

^{1*} Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-4966-8218), feyza.ocal@boun.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 25 Ağustos 2020 ve Kabul Tarihi 31 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.785452)

ATIF/REFERENCE: Akkoyunlu, M.F. (2021). Tarihsel Depremler Ve Kullanılan Yöntemler. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 587-590.

Öz

Deprem konumları belirli bir bölgenin sismisitesini yansıtır. Deprem konumu sismik tehlike ve risk analizi çalışmalarında kullanılan önemli bir parametredir. Deprem konumlarının belirlenmesinde ve doğrulanmasında çok disiplinli teknikler uygulanır. Bunlar aletsel sismoloji, tarihsel sismoloji ve arkeosismolojik yöntemlerdir. Aletsel sismolojik veriler 1900'lü yıllardan itibaren sismik cihazlarla elde edilen verilerdir. Tarihsel deprem verileri, depremlere tanık olan kişilerin gözlemleri ve kayıtları, insan yapımı eserler, jeolojik gözlemler, tarihsel sismoloji, paleosismoloji ve arkeosismoloji çalışmaları sonucunda elde edilir. Tarihsel depremler fay konumlarının günümüzde tam olarak tanımlanamadığı bölgelerde önemli bilgiler sağlar. Bu çalışmada tarihsel deprem kataloglarının hazırlanması amacıyla kullanılan yöntemler derlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Deprem Konumu, Makrosismik Veri, Deprem Kataloğu, Tarihsel Sismoloji.

Historical Earthquakes and the Methods Used

Abstract

Earthquake locations reflect seismicity of a certain region. Earthquake location is an important parameter that is used in seismic hazard and risk analysis studies. In order to define and verify earthquake locations multidisciplinary methods are applied. These are instrumental seismology, historical seismology and archaeoseismological methods. Instrumental seismological data are obtained by seismometers since 1900. Historical earthquake data are acquired from observations and records of witnesses, artifacts, geological observations, historical seismology, paleoseismology and archeoseismological studies. Historical earthquakes provide essential information in regions where fault locations are not defined very well. In this study, methods used in preparation of historical earthquake catalogs are reviewed.

Keywords: Earthquake Location, Macroseismic Data, Earthquake Catalog, Historical Seismology.

* Sorumlu Yazar: feyza.ocal@boun.edu.tr

1. Giriş

Tarihsel sismoloji, geçmişte meydana gelen depremlerin şiddet ve konum bilgilerinin tarihsel araştırmalara dayanarak elde edilmesidir. Tarihsel depremler, sismik etkinlik ile ilgili tamamlayıcı bilgiler sağlar (Ambraseys, 2005). Aletsel ölçülere bağlı olmadan elde edilen bu veriler, tarih, şiddet ve konum bilgilerini içeren makrosismik verilere dönüştürülür. Tarihsel deprem etkilerinin araştırılması çalışmalarına makrosismoloji adı verilir. Makrosismolojik çalışmalarda bir bölgenin sosyal, kültürel, ekonomik ve tarihsel özelliklerinin bilinmesi bilgilerin doğrulanması açısından önem taşır. Başlangıçta bu çalışmalar doğabilimciler tarafından yürütülürken ilerleyen yıllarda daha sistematik tekniklerle yerbilimciler tarafından ele alınıp incelenmiştir (Ambraseys, 1971). Tarihsel sismoloji verileri, geçmişte meydana gelen depremlerin şiddeti, bölgenin lokal sismik etkinliği ile ilgili önemli bilgiler içerir (Guidoboni, 2002).

Tarihsel sismoloji ve aletsel sismoloji yöntemi arasındaki en önemli fark aletsel sismolojik verilerin tarihsel deprem kayıtlarına göre daha genç kayıtlar olarak kabul edilmesidir. 1900'lü yıllardan itibaren sismolojide aletsel deprem kayıtları elde edilmiştir ancak istasyon sayısının ve kayıt yöntemlerinin yetersiz olması nedeniyle veri kalitesi oldukça düşüktür. Aletsel sismolojik veriler 1960'lı yıllardan sonra standart hale getirilerek veri kalitesi artırılmıştır. Bu tarihten itibaren aletsel sismoloji verilerinin erişimi daha kolay ve homojen hale gelmiştir (Ambraseys, 2005). Aletsel sismolojik veriler analog ve sayısal veriler olarak tanımlanır. Sayısal sismometre kayıtlarına geçilmeden önce analog kayıtlar tarafından elde edilen grafik görünümlü sismik kayıtlar analog verilerdir. Sayısal kayıtların elde edilmesi ile deprem konumları sistematik olarak belirlenerek deprem dağılımları kataloglarda yayımlanmıştır.

Tarihsel deprem katalogları yenileme çalışmaları 1950'li yıllara dayanmaktadır. Bu çalışmalar, tarihsel deprem verilerinin bir araya getirilmesi, makrosismik çalışmaların deprem zararlarının haritalanması çalışmalarına dahil edilmesi, güncel sismisite ile geçmiş depremler arasındaki ilişkinin ortaya konmasını hedeflemiştir (Guidoboni, 2002). Bu kapsamda Avrupa Sismoloji Komisyonu'nun 1952 yılında Strasbourg'da düzenlediği toplantıda, aletsel veri kataloglarının homojen olması yönünde kararlar alınmıştır. Bu kararlara göre 1952-1964 yılları arasında yeni deprem kataloglarının formatı ve katalog içeriğinin (deprem oluş zamanı, şiddet, manyitüd ve derinlik) düzenlenmesi ile ilgili yeni kriterler oluşturulmuştur.

Avrupa'nın ilk sismotektonik haritasının oluşturulması kararı 1958 yılında yürütülen Avrupa Sismoloji Birliği toplantısında verilmiştir. Tarihsel deprem katalogları da kullanılacak kaynaklar arasında kabul edilmiştir. Tarihsel ve aletsel dönem sismik veriler için kullanılan parametreler yeniden düzenlenmiştir.

1960 ile 1980 yılları arası dönemde ulusal deprem kataloglarının büyük bir kısmı tarihsel ve aletsel deprem verilerinin birleşiminden oluşmuştur. Bu kataloglardan en önemlisi Vit Karnik'in "Avrupa'nın Sismisitesi" adlı eseridir. 1960 ve 1980 yılları arasında yeni oluşturulan ulusal deprem katalogları dünya genelinde yaygın hale gelirken, bu kataloglarda tarihsel ve aletsel deprem verileri birlikte yer almıştır. Bu kataloglarda aletsel ve tarihsel veriler arasındaki farklar daha net gözlenirken, bu yöntem beraberinde bazı sorunlar da getirmiştir. Katalogların oluşturulduğu dönemde kullanılan delikli bilgisayar kartlarına 80 karakterden fazla yazılamıyor olması açıklanmalı

tarihsel deprem kataloglarında yer alan bilgilerin kesilmesine neden olmuştur. 1980'li yıllarda edebiyat ve coğrafya alanlarında yazılan eserler de tarihsel deprem verilerinin doğrulanması çalışmalarında kullanılmıştır. Bu tür kataloglara örnek olarak Ambraseys ve Melville'nin (1982) İran depremleri kataloğu örnek olarak verilebilir.

2. Tarihsel Deprem Kataloglarının Oluşturulmasında Kullanılan Yöntemler

Eski dönemden bugüne kadar yazılı kültüre sahip ve yüksek deprem aktivitesi yaşanan ülkelerde geçmiş depremler kayıt altına alınmıştır. Tarihsel deprem katalogları, geçmişte meydana gelen depremlerin kayıt altına alınması sonucu korunan verilerdir. Kataloglar depremlerin oluş zamanı, konumu ve şiddet bilgilerini içermektedir. Katalogların insan gözlemlerine dayalı tanımsal verilerden oluşması nedeniyle farklılık gösterebilmektedir. Kataloglar derleyici araştırmacıların dil ve diğer özelliklerine de bağlıdır. Bununla birlikte katalog oluşturma süreci farklı disiplinler arası işbirliğini gerektirmektedir. Tarihsel deprem katalogları sismolog, istatistikçi, mühendis ve jeologlar tarafından farklı çalışmalarda kullanılmakla birlikte araştırma, geliştirme ve düzenlemeye açıktır.

Gelişen teknolojik yöntemlerle birlikte deprem kayıtlarının aletsel yöntemlerle elde edilmesi, aletsel deprem kataloglarının önünü açmıştır. Aletsel veri dağılımının az ya da yetersiz olduğu alanlarda tarihsel deprem kataloglarından yararlanma gereği ön plana çıkmıştır. Sismik risk analizi, fay araştırmalarında tarihsel deprem katalogları önem taşır.

Tarihsel deprem katalogları dört tür veri grubundan elde edilen çalışmalar ve verilerle desteklenir. Bu çalışmalar genişletilebilir.

- 1-Kişisel kaynaklar (tarihsel belgeler, mektuplar, günlükler)
- 2-Kurumsal Kaynaklar (veri arşivleri)
- 3-Bilimsel çalışmalar
- 4- Arkeosismoloji

2.1. Kişisel Kaynaklar

Kişisel kaynaklar, belirli bir bölgede meydana gelen depremlerin bireyler tarafından tasvir edilip tanımlandığı yazılı kaynaklardır. Deprem bölgesinde gözlenen bina hasarları, sismik aktivite şiddeti, sismik etkinlik süresi ve diğer bireysel gözlemlerdir. Depremlerin episantr uzaklığına ve şiddete bağlı yıkıcı etkileri bu kaynaklardan elde edilebilir. Kurumlardan elde edilen bilgiler bireysel kayıtlarla karşılaştırılmalıdır.

2.2. Kurumsal Kaynaklar

Kişisel kaynaklı veriler oldukça önemli olmakla birlikte, tarihsel sismoloji çalışmalarında kurumsal veri arşivleri önemli katkı sağlar. Yıkıcı depremler sonrası alınan yönetsel kararlar, yeniden yapılanma, restorasyon çalışmaları da bu kapsamdadır. Uluslararası yazışmalarda depremlerle ilgili bilgiler yer alabilir. Bunun yanı sıra yıkıcı depremlerin ekonomiye olan etkileri farklı kamu kurumları arasında yürütülen yazışmalarda gözlenmiştir. Deprem sonrası yürütülen çalışmalar da depremin şiddeti hakkında önemli bilgiler sağlayabilir. Kurumsal kaynaklardan tarihsel deprem bilgilerinin elde edilmesi amacıyla arşiv çalışmaları yürütülmektedir. Arşiv çalışmaları belgelerin temini ve farklı dillerden tercüme edilmesini gerektirir.

2.3. Bilimsel Çalışmalar

Depremlerle ilgili çalışmalar yürüten kurum arşivleri, akademik çalışmalar tarihsel deprem kataloglarının oluşturulmasında önem taşır. Kurumlar tarafından oluşturulan deprem bültenleri, makrosismik bilgiler, arazi çalışmaları ve hasar raporları bu gruptadır.

2.4. Arkeosismoloji

Depremler arkalarında arkeolojik izler bırakabilir. Tarihsel depremler üzerine çalışan sismologlar kimi zaman depremlere ait sismik aktivitelerin gözlem çalışmalarında zaman dilimini daha geçmişe almak amacıyla arkeolojik bilgilerden faydalanır. Arkeosismoloji, tarihsel sismoloji sorularının sorulduğu ve arkeolojik kaynakların cevap verdiği bir branş olarak tanımlanabilir. Deprem tek bir noktadan ziyade belirli bir alanı etkiler. Bu izlerin bir kısmı neden oldukları deformasyon ve hasardan dolayı kolay belirlenirken bir kısmı için detaylı çalışma yürütülmesini gerektirir. 80'li yıllardan günümüze kadar ki dönemde arkeosismolojik çalışmalar artış göstermiştir (Hinzen, 2011). Rossi (1874) ve Lanciani (1918) ilk olarak Roma'da depremlerin antik yapılar üzerindeki etkisini araştırırken, Willi (1928) benzer çalışmaları Filistin'de ve Sieberg (1932) Mısır'da yürütmüştür.

Son yıllarda jeofizikçiler, deprem mühendisleri, arkeologlar ve diğer araştırmacılar tarafından konuya ilgi artarak bilimsel toplantılar düzenlenmeye başlamıştır. 1991 yılında Atina Konferansı (Stiros ve Jones, 1996), Roma'da 1993 yılında düzenlenen toplantıda ise Akdeniz'de meydana gelen olaylar bir araya getirilmiştir (Boschi vd., 1995). Arkeosismolojik çalışmalar antik eserlerde olası sismik hasarların belirlenmesi ve modellenmesi amacıyla tarihsel, arkeolojik, jeolojik ve mühendislik çalışmalarına dayalı olarak yürütülmektedir (Stiros 1996; Hancock and Altunel 1997; Galadini et al. 2006, Stiros 2020).

Arkeosismik araştırmalarda temelde şu sorulara cevap aranmaktadır:

1-Yapılarda sismik yer hareketi ya da ikincil deprem etkilerinin belirlenmesi

2-Hasara neden olan yer hareketinin oluş zamanı

3-Hasar kaynağı ile ilgili hangi bilgiler

Tarihi yapılarda günümüz depremlerinde olduğu gibi deformasyonlara maruz kalmıştır. Antik yapılarda arkeosismolojik izler üç ana grupta toplanır (Hinzen, 2011):

1. Deprem bölgesinde fayların neden olduğu yerdeğiştirme miktarının belirlenmesi. Özellikle doğrultu atımlı faylanma yapılarda belirgin izler bırakır.

2. Faylardan belirli bir uzaklıkta kalan yapılarda çatlaklar, eğimli duvarlar, bina yapılarında yerdeğiştirmeler, duvarlarda kırılmalar, düşey yapılarda (mezar taşları, sütunlar gibi) yön değiştirme gözlenebilir. Faydan uzak alanlarda meydana gelen hasarlar daha geniş bir alanda meydana gelirken, ispatlanması daha zordur. 3. Yeraltında meydana gelen sıvılaşmaya bağlı ikincil hasarların belirlenmesi.

Akdeniz gibi depremlerin güçlü ve sık meydana geldiği bölgelerde deprem etkilerinin antik yapılara etkisi üzerine yapılan araştırmaların yeterli olmadığı gözlenmiştir. Tarihsel deprem araştırmalarında arkeolojik bir alanda sismik izlerin kaybolması ya da korunması o bölgenin ekonomik özelliklerine de bağlıdır.

e-ISSN: 2148-2683

Ekonomik sorunların görülmediği bölgelerde hızlı restorasyon çalışmaları deprem izlerinin kaybolmasına neden olurken imkanların az olduğu alanlarda arkeolojik yapılar terk edilmiş olabilmektedir.

Arkeosismolojik çalışmalar farklı disiplinler arası çalışmayı gerektirir. Arkeoloji ve sismolojik yöntemlerin yanı sıra, jeodezi, jeoloji ve inşaat mühendisliğinden elde edilen verilere ihtiyaç duyar (Ambraseys 2006). Arkeolojik yaşlandırma yöntemleri belirli bir zaman aralığının belirlenmesi açısından önemlidir. Arkeosismolojik çalışmalarda ilk adım, arkeolojik kazılarda bulunan eserlerde meydana gelen hasarların belirlenmesi ve raporlanmasıdır. Klasik arkeolojik kazı tekniklerine ve ölçümlerine ek olarak üç boyutlu görüntüleme teknikleri arkeosismik arazi çalışmalarında önem taşır. Fotogrametri ve yersel laser tarama tekniği ile çalışma alanında deformasyon miktarı, çatlaklar analiz edilebilir. Sismolojik veriler kazı boyunca elde edilebilir. Kazı alanının stratigrafisi belirlenebilir. Çalışma alanının lokal jeolojik özelliklerinin modellenmesi ikinci adım olarak kabul edilebilir. Lokal jeolojik özellikler o bölgenin zemin yapısı hakkında önemli bilgiler sağlar. Zemin büyümesi ya da sıvılaşma olmaması durumunda deprem büyüklüğünü tahmin etmek daha kolay olabilmektedir. Arkeosismik araştırmalarda diğer doğal afetlerin etkisi de gözönünde bulundurulmalıdır. Örneğin (sel, fırtına heyelan gibi). Arkeosismolojide en zor adımlardan biri, analiz edilen hasarlara neden olan depremin kaynak parametrelerinin belirlenmesidir. Deprem zamanı, arkeolojik stratigrafi yöntemi ya da fiziksel yaşlandırma teknikleriyle belirlenebilir. Deprem konumu ve büyüklüğü sismolojik modellerle belirlenebilir. Arkeosismik çalışmalar, tarihsel, arkeolojik ve jeolojik geçmişe bilimsel yönden açılan bir penceredir.

3. Tarihsel Deprem Parametreleri

Sismolojide makrosismik veriler daha nitel, daha az güvenilir ve aletsel verilerden daha düşük kalitede görülebilmektedir. Tarihsel depremlere ait bilgiler sistematik değildir. Tarihsel kayıtlardan elde edilen tanımsal bilgiler, depremlerin oluş zamanı, koordinatları, şiddeti ve ona karşılık gelen manyitüd değeri gibi deprem parametrelerine özel tekniklerle dönüştürülür. Tarihsel ifadelerden bilimsel sayılara geçmek için belirli adımları uygulamak gerekir.

3.1. Zaman

Tarihsel deprem kataloglarında depremin oluş tarihi ve zamanı ile ilgili yaşanan sorunlardan en önemlisi farklı takvimlerin farklı toplumlar zamanında kullanılmasıdır. Bu takvimlerin özelliklerine göre tarih dönüşümü yapılmalıdır. Bu durum bazı depremlerin iki defa kayıt alınmasına neden olmuştur. Deprem katalogları her zaman GMT (Greenwich Mean Time) zaman dilimine dönüştürülemez. Örneğin İtalya'da tarih boyunca farklı tarih ve zaman ölçeği kullanılmıştır bunların standart GMT zamanına dönüştürülmesinde oldukça dikkatli çalışmak gerekmektedir (Guidoboni 2002).

3.1. Şiddet

Şiddet, deprem sonrası meydana gelen hasarlara göre deprem etkilerinin sınıflandırılmasıdır. Şiddet, deprem konumu hesabı, maksimum hasar alanı ve bu değere karşılık gelen büyüklük değerinin hesaplanmasını sağlar. Şiddet özellikle sismik tehlike hesaplamalarında önemli bir veri kaynağı olarak kabul edilir. Şiddet ölçeği zamansal ve mekansal açıdan sismik olayların

karşılaştırılmasını mümkün hale getirmiştir. Avrupa Makrosismik Ölçeği günümüzde kullanılan deprem şiddet ölçeklerinden biridir (Grunthal 1998). 70'den fazla makrosismik ölçeği yer almaktadır ve bu ölçeklerin çoğu 10-12 dereceye arasındadır (Guidoboni ve Ferrari, 2000). Tarihsel bir depremin en yüksek şiddet değeri, I max, ile ifade edilir ve tarihsel depremlerde açığa çıkan enerjinin büyüklüğünü ifade eden tek parametredir. Kimi zaman Io olarak da episantral şiddet olarak gösterilebilir, bu nedenle makrosismik episantr maksimum etkilerin gözlemlendiği konum olarak da tanımlanabilir.

3.3. Deprem Konumu

Makrosismik konum belirleme çalışmaları aletsel konum belirleme çalışmalarından farklıdır. Aletsel konumlar deprem odağının yeryüzündeki izdüşümüdür. Gasperini ve Ferrari (1997)'ye göre makrosismik episantr "maksimum etkiye sahip alanın ağırlıklı ortalaması olarak kabul edilir". Tarihsel deprem konumları farklı birkaç noktanın ortalama koordinatıdır.

4. Sonuçlar

Deprem konumları bir bölgenin sismik aktivitesini gösteren en önemli parametredir. Günümüzde meydana gelen sismik aktiviteler aletsel sismolojik yöntemlerle belirlenir. Aletsel dönem öncesinde meydana gelen depremler, tarihsel depremler olarak kabul edilir. Tarihsel deprem katalogları, depremlerin oluş zamanı, konumu ve şiddet bilgilerini içerir. Bu kataloglar insan hafızasından silinmiş ve geniş zaman penceresinde yer alan depremlerden oluşur. Katalog çalışmalarında kişisel kaynaklar, kurumsal veriler, bilimsel çalışmalar ve arkeosismolojik veriler önemli yer tutar. Belirli bir bölgede meydana gelen tarihsel depremlerle ilgili çalışmalar, o bölgenin sosyolojik, kültürel, ekonomik, dil ve tarihsel özelliklerinin bilinmesini gerektirir. Tarihsel deprem katalogları günümüz sismik etkinliğine katkı sağlamakla birlikte deprem riski ve tehlike analizi çalışmalarında, fay konumlarının tam olarak belirlenemediği bölgelerde önemli katkı sağlar.

4. Teşekkür

Makalenin değerlendirme sürecine zaman ayırarak değerli katkılarını sağlayan hakemlere teşekkür ederim.

Kaynakça

- Ambraseys, N. N. (1971). Value of historical records of earthquakes. *Nature*, 232(5310), 375-379.
- Ambraseys, N. N., & White, D. (1997). The seismicity of the eastern Mediterranean region 550-1 BC: A re-appraisal. *Journal of Earthquake Engineering*, 1(04), 603-632.
- Ambraseys, N. N., Melville, C. P., & Adams, R. D. (2005). The seismicity of Egypt, Arabia and the Red Sea: a historical review. Cambridge university press.
- Ambraseys, N. N. (2006). Earthquakes and archaeology. *Journal of Archaeological Science*, 33(7), 1008-1016.
- Caputo, R., & Helly, B. (2008). The use of distinct disciplines to investigate past earthquakes. *Tectonophysics*, 453(1-4), 7-19.
- Galadini, F., Hinzen, K. G., & Stiros, S. (2006). Archaeoseismology: methodological issues and procedure. *Journal of Seismology*, 10(4), 395-414.
- Guidoboni, E. (2002). Historical seismology: the long memory of the inhabited world. In *International Geophysics* (Vol. 81, pp. 775-cp1). Academic Press.

- Hancock, P. L., & Altunel, E. R. H. A. N. (1997). Faulted archaeological relics at Hierapolis (Pamukkale), Turkey. *Journal of Geodynamics*, 24(1-4), 21-36.
- Hinzen, K. G. (2011). Archaeoseismology. *Encyclopedia of Solid Earth Geophysics*, edited by HK Gupta, 11-15.
- Hinzen, K. G., & SchUtte, S. (2003). Evidence for earthquake damage on Roman buildings in Cologne, Germany. *Seismological Research Letters*, 74(2), 124-140.
- Pavlidis, S., & Caputo, R. (2004). Magnitude versus faults' surface parameters: quantitative relationships from the Aegean Region. *Tectonophysics*, 380 (3-4), 159-188.
- Stiros, S. C. (1996). Identification of earthquakes from archaeological data: methodology, criteria and limitations. *Archaeoseismology*, 7, 129-152.
- Stiros, S. C. (2020). Monumental articulated ancient Greek and Roman columns and temples and earthquakes: archaeological, historical, and engineering approaches. *Journal of Seismology*, 1-29.
- La Rosa, V. (1995). A hypothesis on earthquakes and political power in Minoan Crete.
- Nur, A., & Burgess, D. (2008). *Apocalypse: earthquakes, archaeology, and the wrath of God*. Princeton University



Türk İmalat Sanayinin Endüstri 4.0'a Geçiş Sürecini Olumsuz Etkileyen Faktörlerin Kalite Evi ve Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ile Analizi

Mehmet Ali Ilgın^{1*}, Buket Urkan², Esra Kurtul³

¹ Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1765-2470), mehmetali.ilgin@cbu.edu.tr

² Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3952-4242), buketurkan@gmail.com

³ Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7319-6046), esrakurtul29@hotmail.com

(İlk Geliş Tarihi 7 Temmuz 2020 ve Kabul Tarihi 31 Ocak 2021)

(DOI:10.31590/ejosat.763553)

ATIF/REFERENCE: Ilgın, M.A., Urkan, B. & Kurtul, E. (2021). Türk İmalat Sanayinin Endüstri 4.0'a Geçiş Sürecini Olumsuz Etkileyen Faktörlerin Kalite Evi ve Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ile Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 591-599.

Öz

Bulut hesaplama ve nesnelerin interneti gibi teknolojilerde son yıllardaki gelişmeler sonucu endüstri 4.0 önemli bir imalat stratejisi olarak ortaya çıkmıştır. Endüstri 4.0 geçiş süreci gelişmiş ülkelerde daha önce başlamış olup bu ülkelerde endüstri 4.0 teknolojilerini başarıyla uygulayan çok sayıda imalat firması vardır. Diğer taraftan, gelişmekte olan ülkelerde bulunan imalat firmaları endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanımı konusunda çeşitli organizasyonel, teknik ve finansal bariyerlerle karşılaşmaktadır. Bu çalışmada Türkiye'de imalat sanayinde endüstri 4.0'a geçiş sürecini olumsuz etkileyen faktörler incelenmektedir. Öncelikle, anketler kullanılarak ve literatür taranarak önemli faktörler belirlenmiştir. Daha sonra, analitik ağ süreci ve DEMATEL (The Decision Making Trial and Evaluation Laboratory) çok kriterli karar verme yöntemleri ile bu faktörlerin önem seviyeleri hesaplanmıştır. Son aşamada, faktörlerin etkilerini azaltmaya yardımcı olacak çözüm alternatifleri kalite evi ile belirlenmiş ve önceliklendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Endüstri 4.0, Analitik Ağ Süreci, DEMATEL, Kalite Evi

Analysis of the Factors That Negatively Affect the Industry 4.0 Transition Process of Turkish Manufacturing Industry by Using House of Quality and Multi Criteria Decision Making Techniques

Abstract

Industry 4.0 has emerged as a critical manufacturing strategy due to recent developments in various technologies such as cloud computing and the internet of things. The industry 4.0 transition process has started earlier in developed countries and these countries have many manufacturing companies that implement industry 4.0 technologies successfully. On the other hand, manufacturing companies in developing countries experience various organizational, technical and financial barriers on the use of industry 4.0 technologies. In this study, the factors that negatively affect the industry 4.0 transition process in Turkey are investigated. First, factors are determined by using questionnaires and reviewing the literature. Next, importance levels of the factors are calculated through the use of analytical network process and DEMATEL (The Decision Making Trial and Evaluation Laboratory) multi criteria decision making methods. At the last stage, the solution alternatives that will help lessen the impacts of the factors are determined and prioritized by using house of quality.

Keywords: Industry 4.0, Analytical Network Process, DEMATEL, House of Quality

* Sorumlu Yazar: Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye, ORCID: 0000-0003-1765-2470, mehmetali.ilgin@cbu.edu.tr

1. Giriş

Nesnelere interneti, büyük veri ve bulut hesaplama gibi teknolojilerde son yıllarda büyük gelişmeler görülmüş ve bu teknolojiler özellikle gelişmiş ülkelerde imalatla kullanılmaya başlanmıştır. İlk olarak Hannover fuarında “Endüstri 4.0” olarak adlandırılan imalatla bu dijitalleşme süreci, Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada gibi ülkelerde “zeki imalat” olarak da bilinmektedir.

Endüstri 4.0 kavramı son beş yıl içinde önemli bir rekabet faktörü haline gelmiş, gerek işletmelerde çalışanlar ve gerekse de akademisyenler bu konuda pek çok çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmaların önemli bir bölümü, endüstri 4.0 teknolojilerini imalat işletmelerinde daha önce uygulamaya başlamış olan gelişmiş ülkelerde gerçekleştirilmiştir. Bu ülkelerde de endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanımı konusunda bazı sorunlar var olmakla birlikte, özellikle gelişmekte olan ülkelerde endüstri 4.0 teknolojilerinin etkin ve yaygın kullanımını engelleyen çok sayıda faktör bulunmaktadır.

Literatürde, endüstri 4.0'a geçiş sürecindeki başarı faktörlerini ve/veya bu süreci olumsuz yönde etkileyen faktörleri çeşitli yöntemlerle analiz eden çalışmalar bulunmaktadır. Özkaya vd., 2019 analitik ağ süreci yöntemini kullanarak Türkiye'de endüstri 4.0'a geçişi olumsuz etkileyen faktörleri analiz etmişlerdir. Kamble vd., 2018, ISM (Interpretive Structural Modeling) tekniğini kullanarak, endüstri 4.0'ın Hindistan imalat sanayinde kullanımını olumsuz yönde etkileyen faktörler arasındaki ilişkileri analiz etmişlerdir. Türkes vd., 2019, Romanya'da küçük ve orta ölçekli işletmelerin endüstri 4.0'a geçiş sürecini olumlu etkileyen faktörler yanında olumsuz etkileyen faktörleri de istatistiksel yöntemler kullanarak analiz etmişlerdir. Koçak & Dişin, 2018, endüstri 4.0 geçiş sürecindeki başarı faktörlerini İzmir'de bulunan bir tekstil firmasının Türkiye ve Almanya'da bulunan yöneticilerinin görüşleri doğrultusunda DEMATEL yöntemi ile incelemişlerdir. Singh & Bhanot, 2020 DEMATEL ve ISM yöntemlerini birlikte kullanarak, Hindistan imalat sanayinde endüstri 4.0'a geçiş sürecini olumsuz etkileyen faktörleri analiz etmişlerdir.

Bu çalışmada, endüstri 4.0 teknolojilerinin Türkiye'de kullanımını olumsuz yönde etkileyen faktörler DEMATEL ve analitik ağ süreci çok kriterli karar verme teknikleri ile analiz edilmekte ve bu faktörlerin etkilerinin azaltılması için sunulan iyileştirme önerileri kalite evi ile önceliklendirilmektedir. Kullanılan analiz yöntemleri ve kapsamı dikkate alındığında, çalışmanın literatüre iki önemli katkısı bulunmaktadır. Birincisi, DEMATEL ve analitik ağ süreci yöntemlerinin birlikte kullanılması ile faktörler arasındaki ilişkilerin, faktörlerin önem düzeylerinin belirlenmesinde dikkate alınmasıdır. İkincisi, faktörlerin etkilerinin azaltılması için sunulan iyileştirme önerilerinin kalite evi kullanılarak faktörlerle ilişkilendirilmesi ve öncelik verilmesi gereken iyileştirme önerilerinin belirlenmesidir.

Çalışma şu şekilde organize edilmiştir. İkinci bölümde, Türk imalat sanayinin endüstri 4.0'a geçiş sürecini olumsuz yönde etkileyen faktörler hakkında bilgi verilmektedir. Faktörler arası ilişkiler ve faktör ağırlıkları sırasıyla üçüncü ve dördüncü bölümlerde belirlenmektedir. Beşinci bölümde, iyileştirme önerileri sunulmakta ve bu öneriler, kalite evi kullanılarak önceliklendirilmektedir. Son bölüm olan altıncı bölümde çalışmanın sonuçları sunulmaktadır.

2. Türk İmalat Sanayinin Endüstri 4.0'a Geçiş Sürecini Olumsuz Etkileyen Faktörler

Endüstri 4.0 konusunda literatür çalışması yapılarak Türkiye'de imalat sanayinde endüstri 4.0'a geçiş sürecini olumsuz etkileyen faktörler belirlenmiş ve Tablo 1'de sunulmuştur. Belirlenen faktörlerin önem düzeylerini belirlemek amacıyla, Türk imalat sanayinde hizmet veren özel firmalarda çalışan 66 kişiye anket uygulanmıştır. Bu aşamadan sonra eşik değer %60 olarak belirlenmiş ve önem düzeyi bu değerden düşük olan faktörler çalışmanın devamında dikkate alınmamıştır. Çalışmada dikkate alınan faktörler, F2, F3, F5, F6, F7, F10, F13, F15, F16, F18, F20, F21, F23 ve F24'dür.

3. DEMATEL ile Faktör İlişkilerinin Belirlenmesi

DEMATEL (The Decision Making Trial and Evaluation Laboratory), faktörler arası ilişkileri analiz etmekte kullanılan bir çok kriterli karar verme tekniğidir (Gabus & Fontela, 1972). DEMATEL analizi sonucunda faktörler “etkileyen” ve “etkilenen” olmak üzere iki gruba ayrılmakta ve ayrıca faktörler arasındaki belirli bir eşik değerini aşan ilişkiler grafiksel olarak gösterilebilmektedir. Faktörlerin birbirleri üzerindeki etkileri 0-4 (0: çok az etki, 1: az etki, 2: normal etki, 3: fazla etki, 4: çok fazla etki) arası değerler içeren bir skala kullanılarak belirlenmekte ve bu etkiler direkt ilişki matrisi denilen bir matrisle ifade edilmektedir. Birden fazla uzman olması durumunda ortalama direkt ilişki matrisi oluşturulmaktadır. Bu çalışmada, Tablo 2'de verilen ortalama direkt ilişki matrisi, Türkiye'de imalat sanayinde çalışan ve endüstri 4.0 konusunda bilgi sahibi 6 profesyonel tarafından oluşturulan direkt ilişki matrislerinin ortalaması alınarak oluşturulmuştur.

Tablo 2'de verilen ortalama ilişki matrisindeki tüm değerler, bu matrisin satır ve sütun toplamalarının en büyüğü olan 30,96 değerine bölünerek Tablo 3'de sunulan normalleştirilmiş ortalama direkt ilişki matrisi oluşturulmuştur.

Normalleştirilmiş ortalama direkt ilişki matrisi birim matristen çıkartılıp tersi alındıktan sonra tekrar kendisi ile çarpılarak Tablo 4'de verilen toplam etki matrisi elde edilir.

Tablo 4'de verilen toplam etki matrisi matrisinde satır toplamları (D_i) ve sütun toplamları (R_i) bulunmuş ve D_i+R_i ve D_i-R_i değerleri Tablo 5'te görüldüğü şekilde hesaplanmıştır. Bu tablonun son sütunda, D_i-R_i değeri pozitif olan faktörler “etkileyen” ve D_i-R_i değeri negatif olan faktörler ise “etkilenen” olarak sınıflandırılmıştır.

Tablo 1. Türk İmalat Sanayinin Endüstri 4.0'a Geçişini Olumsuz Etkileyen Faktörler

Kod	Faktör	Referanslar
F1	Çalışan direnci/isteksizliği	Özkaya vd., 2019 ; Soylu, 2018 ; Tunçel vd., 2017
F2	Fabrikalarda iş başında eğitim imkanlarının yetersizliği ve teknik eğitim eksiklikleri	Nuroğlu & Nuroğlu, 2018 ; Soylu, 2018 ; Yalçın, 2018
F3	Endüstri 4.0 kavramlarının yeterince anlaşılabilmesi	Özkaya vd., 2019 ; Öztürk & Koç, 2017 ; Tunçel vd., 2017
F4	Üretime ilişkin hedef tutarsızlıkları ve veri güvenilirliği sorunları	Akben & Avcı, 2018
F5	İşletmelerin gelecek planları yapmak yerine bugünkü sorunlara odaklanması	Özkaya vd., 2019
F6	Yeni meslek kollarına duyulan ihtiyaçları karşılayacak eğitim sisteminin hazırlanmamış olması	Özsoylu, 2017 ; Şener & Elevli, 2017 ; Soylu, 2018 ; Yalçın, 2018
F7	Fabrikalardaki süreçlerin endüstri 4.0'a uygun olmaması	Özkaya vd., 2019
F8	Doğru ölçüm, izleme, raporlama yapılamaması	Şener & Elevli, 2017
F9	Büyük veriyi yönetmenin zorluğu	Özsoylu, 2017
F10	Yüksek ilk yatırım maliyeti ve bakım maliyetlerinin yüksekliği	Özkaya vd., 2019
F11	İstihdam üzerinde oluşacak olumsuz etkiler	Ünlü & Atik, 2018
F12	Yerel yönetim ve KOBİ'lerin risk alma iştahının düşük olması	Soylu, 2018
F13	İşletmenin tüm birimlerini endüstri 4.0'a entegre etmenin zor olması	Özsoylu, 2017 ; Soylu, 2018
F14	Endüstri 4.0'ın gelir dağılımı üzerindeki olumsuz etkileriyle birlikte sosyal sorunların ortaya çıkması	Ünlü & Atik, 2018
F15	İşletmelerin AR-GE çalışmaları için ayırdığı kaynakların yetersiz olması	Bulut & Akçacı, 2017 ; Kılıç & Alkan, 2018 ; Soylu, 2018 ; Yalçın, 2018
F16	Değişken devlet politikaları ve dışa bağımlılık	Nuroğlu & Nuroğlu, 2018 ; Soylu, 2018 ; Yalçın, 2018
F17	Yasal prosedürler ve uygulamaların zorluğu	Özsoylu, 2017 ; Soylu, 2018
F18	Bilişim altyapısı eksikliği ve teknolojik yetersizlikler	Özsoylu, 2017 ; Öztürk & Koç, 2017 ; Tunçel vd., 2017 ; Yalçın, 2018
F19	Siber güvenlik sorunları	Özsoylu, 2017 ; Yalçın, 2018
F20	Robot, yazılım, donanım geliştirmeye yönelik politika ve know-how eksiklikleri	Fırat & Fırat, 2017 ; Kılıç & Alkan, 2018
F21	İşletmenin simülasyonunun sanal ortamda doğru olarak modellenememesi	Bulut & Akçacı, 2017 ; Soylu, 2018
F22	Çok fazla tüketen Türk toplum yapısı	Arslan, 2018
F23	İhracat için ithalata aşırı bağımlı olma	Arslan, 2018
F24	Bilgi ve teknolojiyi etkin kullanamama	Arslan, 2018

Tablo 2. Ortalama Direkt İlişki Matrisi

	F2	F3	F5	F6	F7	F10	F13	F15	F16	F18	F20	F21	F23	F24
F2	0,00	3,33	2,33	3,00	2,33	1,00	2,66	1,66	2,00	2,16	1,83	1,5	1,16	1,33
F3	2,00	0,00	1,66	0,83	2,00	0,83	2,33	1,00	0,5	1,00	1,66	1,00	0,33	2,16
F5	2,50	1,83	0,00	1,66	2,16	0,66	1,5	2,83	2,66	2,00	2,5	2,33	0,83	2,66
F6	2,66	2,50	2,00	0,00	1,50	1,50	2,33	1,33	1,33	2,33	2,5	2,16	0,66	2,66
F7	1,83	2,00	1,66	1,00	0,00	2,16	2,83	1,33	0,16	1,33	1,50	1,66	0,16	1,66
F10	1,50	1,83	2,33	1,00	2,33	0,00	2,66	2,33	1,33	2,16	2,00	2,16	1,50	2,00
F13	1,83	2,66	1,83	0,83	2,16	2,16	0,00	2,16	0,83	1,16	1,33	1,66	1,16	1,33
F15	2,50	2,16	1,83	1,66	2,66	2,50	2,83	0,00	2,33	2,66	2,50	2,83	1,50	2,66
F16	1,66	1,00	2,00	2,50	1,50	1,83	1,50	2,16	0,00	2,16	2,16	1,00	2,83	2,16
F18	2,16	2,16	1,83	1,16	3,33	2,66	3,00	0,83	1,66	0,00	2,33	2,50	1,83	2,50
F20	2,16	1,66	1,50	1,50	3,00	2,16	2,33	1,50	1,50	2,16	0,00	2,33	2,00	2,50
F21	1,33	1,16	1,50	0,50	3,16	1,50	2,50	1,33	1,16	2,00	2,00	0,00	1,50	1,83
F23	0,83	0,83	1,66	1,16	1,16	1,83	1,83	1,50	1,83	2,00	1,50	1,16	0,00	1,50
F24	2,16	2,00	2,00	1,50	2,83	2,50	2,66	1,33	2,16	2,50	2,50	3,00	1,83	0,00

Tablo 3. Normalleştirilmiş Ortalama Direkt İlişki Matrisi

	F2	F3	F5	F6	F7	F10	F13	F15	F16	F18	F20	F21	F23	F24
F2	0,000	0,108	0,075	0,097	0,075	0,032	0,086	0,054	0,065	0,070	0,059	0,048	0,037	0,043
F3	0,065	0,000	0,054	0,027	0,065	0,027	0,075	0,032	0,016	0,032	0,054	0,032	0,011	0,070
F5	0,081	0,059	0,000	0,054	0,070	0,021	0,048	0,091	0,086	0,065	0,081	0,075	0,027	0,086
F6	0,086	0,081	0,065	0,000	0,048	0,048	0,075	0,043	0,043	0,075	0,081	0,070	0,021	0,086
F7	0,059	0,065	0,054	0,032	0,000	0,070	0,091	0,043	0,005	0,043	0,048	0,054	0,005	0,054
F10	0,048	0,059	0,075	0,032	0,075	0,000	0,086	0,075	0,043	0,070	0,065	0,070	0,048	0,065
F13	0,059	0,086	0,059	0,027	0,070	0,070	0,000	0,070	0,027	0,037	0,043	0,054	0,037	0,043
F15	0,081	0,070	0,059	0,054	0,086	0,081	0,091	0,000	0,075	0,086	0,081	0,091	0,048	0,086
F16	0,054	0,032	0,065	0,081	0,048	0,059	0,048	0,070	0,000	0,070	0,070	0,032	0,091	0,070
F18	0,070	0,070	0,059	0,037	0,108	0,086	0,097	0,027	0,054	0,000	0,075	0,081	0,059	0,081
F20	0,070	0,054	0,048	0,048	0,097	0,070	0,075	0,048	0,048	0,070	0,000	0,075	0,065	0,081
F21	0,043	0,037	0,048	0,016	0,102	0,048	0,081	0,043	0,037	0,065	0,065	0,000	0,048	0,059
F23	0,027	0,027	0,054	0,037	0,037	0,059	0,059	0,048	0,059	0,065	0,048	0,037	0,000	0,048
F24	0,070	0,065	0,065	0,048	0,091	0,081	0,086	0,043	0,070	0,081	0,081	0,097	0,059	0,000

Tablo 4. Toplam Etki Matrisi

	F2	F3	F5	F6	F7	F10	F13	F15	F16	F18	F20	F21	F23	F24
F2	0,226	0,328	0,284	0,252	0,339	0,239	0,353	0,240	0,229	0,287	0,286	0,271	0,187	0,278
F3	0,215	0,158	0,197	0,137	0,246	0,169	0,258	0,161	0,132	0,183	0,207	0,186	0,114	0,225
F5	0,306	0,289	0,219	0,219	0,343	0,237	0,328	0,279	0,256	0,291	0,312	0,303	0,185	0,322
F6	0,302	0,302	0,272	0,161	0,315	0,252	0,342	0,228	0,210	0,290	0,303	0,289	0,173	0,313
F7	0,225	0,235	0,212	0,152	0,205	0,222	0,292	0,185	0,134	0,208	0,219	0,222	0,120	0,227
F10	0,264	0,276	0,277	0,187	0,334	0,204	0,346	0,255	0,207	0,281	0,284	0,286	0,194	0,289
F13	0,238	0,266	0,230	0,157	0,285	0,234	0,224	0,221	0,164	0,217	0,228	0,234	0,158	0,233
F15	0,336	0,331	0,306	0,240	0,397	0,321	0,406	0,222	0,268	0,340	0,344	0,349	0,226	0,354
F16	0,266	0,249	0,266	0,232	0,304	0,258	0,309	0,248	0,166	0,282	0,288	0,250	0,234	0,293
F18	0,300	0,305	0,281	0,205	0,383	0,300	0,379	0,228	0,227	0,233	0,311	0,312	0,216	0,321
F20	0,289	0,279	0,261	0,208	0,361	0,277	0,347	0,237	0,216	0,289	0,231	0,297	0,214	0,310
F21	0,225	0,224	0,223	0,149	0,318	0,221	0,303	0,198	0,175	0,244	0,250	0,187	0,172	0,249
F23	0,193	0,195	0,210	0,157	0,237	0,213	0,260	0,189	0,184	0,228	0,218	0,205	0,116	0,222
F24	0,310	0,310	0,296	0,223	0,382	0,305	0,381	0,250	0,251	0,319	0,327	0,337	0,224	0,258

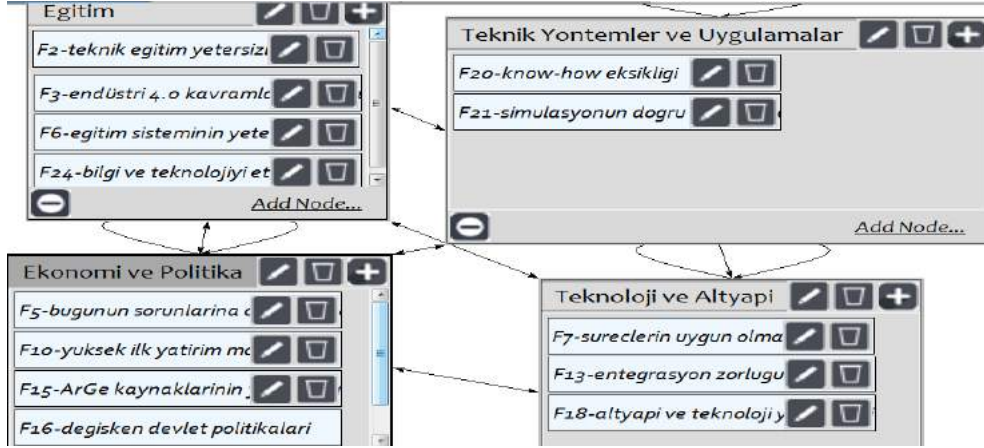
Tablo 5. D_i-R_i ve $D_i + R_i$ Değerleri

Faktör	D_i	R_i	D_i+R_i	D_i-R_i	Etki Grubu
F2	3,799	3,695	7,494	0,104	Etkileyen
F3	2,5881	3,469	6,0571	-0,881	Etkilenen
F5	3,8886	3,2545	7,1431	0,6341	Etkileyen
F6	3,7529	2,9487	6,7016	0,8042	Etkileyen
F7	2,8569	2,6465	5,5033	0,2104	Etkileyen
F10	3,6852	2,4214	6,1066	1,2638	Etkileyen
F13	3,0903	5,9567	9,047	-2,866	Etkilenen
F15	4,4416	8,3068	12,748	-3,865	Etkilenen
F16	3,644	11,859	15,503	-8,215	Etkilenen
F18	4,0015	15,346	19,347	-11,34	Etkilenen
F20	3,8168	17,903	21,72	-14,09	Etkilenen
F21	3,1384	21,299	24,438	-18,16	Etkilenen
F23	2,8285	24,164	26,993	-21,34	Etkilenen
F24	4,1729	28,413	32,585	-24,24	Etkilenen

4. Faktör Ağırlıklarının Analitik Ağ Süreci ile Belirlenmesi

Analitik ağ süreci, çok kriterli karar verme problemlerini ağ yapısı şeklinde modelleyen ve ağ yapısında bulunan kümelerin birbirleriyle ve kendi içlerinde var olan ilişkileri dikkate alan bir yöntemdir (Saaty, 1996). Bu bölümde, analitik ağ süreci ile

faktör ağırlıkları belirlenmiştir. Bu doğrultuda, ilk olarak Şekil 1’de verilen ağ yapısı Super Decisions programında oluşturulmuştur. Bu şekilde görüldüğü üzere faktörler, “Eğitim”, “Teknik Yöntem ve Uygulamalar”, “Ekonomi ve Politika” ve “Teknoloji ve Altyapı” olarak adlandırılan 4 küme altında modellenmiştir. Kümeler arası ve küme içi ilişkiler, DEMATEL yöntemiyle belirlenen faktör ilişkilerine göre belirlenmiştir.



Şekil 1. Analitik Ağ Yapısı

Kriterlerin birbirleri üzerindeki uzun dönemli göreceli etkileri süper matrisin kuvveti alınarak belirlenir. Bu sayede elde edilen limit süper matris Şekil 2’de verilmektedir. Limit süper matristeki değerler kümelere göre normalize edilerek Şekil 3’de verilen ve yeşil renkle gösterilen normalize önem değerleri elde

edilmiştir. Bu değerlere göre, %22,3343 oranla F7 (Fabrikalardaki süreçlerin endüstri 4.0’a uygun olmaması) ve %22,2406 oranla F3 (Endüstri 4.0 kavramlarının yeterince anlaşılabilmesi) faktörleri Türkiye’de imalat sanayinde endüstri 4.0’a geçiş sürecini olumsuz etkileyen en önemli faktörlerdir.

	F2-tekn~	F3-endü~	F6-egit~	F24-bil~	F5-bugu~	F10-yuk~	F15-ArG~	F16-deg~	F23-ith~	F20-kno~	F21-sim~	F7-sure~	F13-ent~	F18-alt~
F2-tekn~	0.07634	0.00000	0.07634	0.07634	0.07634	0.07634	0.07634	0.07634	0.00000	0.07634	0.00000	0.00000	0.00000	0.07634
F3-endü~	0.22241	0.00000	0.22241	0.22241	0.22241	0.22241	0.22241	0.22241	0.00000	0.22241	0.00000	0.00000	0.00000	0.22241
F6-egit~	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
F24-bil~	0.01234	0.00000	0.01234	0.01234	0.01234	0.01234	0.01234	0.01234	0.00000	0.01234	0.00000	0.00000	0.00000	0.01234
F5-bugu~	0.08904	0.00000	0.08904	0.08904	0.08904	0.08904	0.08904	0.08904	0.00000	0.08904	0.00000	0.00000	0.00000	0.08904
F10-yuk~	0.04456	0.00000	0.04456	0.04456	0.04456	0.04456	0.04456	0.04456	0.00000	0.04456	0.00000	0.00000	0.00000	0.04456
F15-ArG~	0.03013	0.00000	0.03013	0.03013	0.03013	0.03013	0.03013	0.03013	0.00000	0.03013	0.00000	0.00000	0.00000	0.03013
F16-deg~	0.02461	0.00000	0.02461	0.02461	0.02461	0.02461	0.02461	0.02461	0.00000	0.02461	0.00000	0.00000	0.00000	0.02461
F23-ith~	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
F20-kno~	0.07081	0.00000	0.07081	0.07081	0.07081	0.07081	0.07081	0.07081	0.00000	0.07081	0.00000	0.00000	0.00000	0.07081
F21-sim~	0.08608	0.00000	0.08608	0.08608	0.08608	0.08608	0.08608	0.08608	0.00000	0.08608	0.00000	0.00000	0.00000	0.08608
F7-sure~	0.22334	0.00000	0.22334	0.22334	0.22334	0.22334	0.22334	0.22334	0.00000	0.22334	0.00000	0.00000	0.00000	0.22334
F13-ent~	0.06803	0.00000	0.06803	0.06803	0.06803	0.06803	0.06803	0.06803	0.00000	0.06803	0.00000	0.00000	0.00000	0.06803
F18-alt~	0.05230	0.00000	0.05230	0.05230	0.05230	0.05230	0.05230	0.05230	0.00000	0.05230	0.00000	0.00000	0.00000	0.05230

Şekil 2. Limit Süper Matris

Icon	Name	Normalized by Cluster	Limiting
No Icon	F2-teknik eğitim yetersizliği	0.24540	0.076339
No Icon	F3-endüstri 4.0 kavramlarının anlaşılabilmesi	0.71494	0.222406
No Icon	F6-egitim sisteminin yetersizliği	0.00000	0.000000
No Icon	F24-bilgi ve teknolojiyi etkin kullanamama	0.03967	0.012340
No Icon	F5-bugünün sorunlarına odaklanma	0.47276	0.089045
No Icon	F10-yüksek ilk yatırım maliyeti	0.23658	0.044561
No Icon	F15-ArGe kaynaklarının yetersizliği	0.15998	0.030132
No Icon	F16-değişken devlet politikaları	0.13068	0.024613
No Icon	F23-ithalata bağımlılık	0.00000	0.000000
No Icon	F20-know-how eksikliği	0.45133	0.070812
No Icon	F21-simülasyonun doğru modellenememesi	0.54867	0.086085
No Icon	F7-süreçlerin uygun olmaması	0.64988	0.223343
No Icon	F13-entegrasyon zorluğu	0.19794	0.068026
No Icon	F18-altyapı ve teknoloji yetersizliği	0.15218	0.052299

Şekil 3. Faktörlerin Öncelik Değerleri

5. İyileştirme Önerilerinin Kalite Evi ile Değerlendirilmesi

Bu aşamada analitik ağ süreci yönteminde ağırlığı sıfır olarak bulunan faktörler dışındaki faktörler için kalite evi oluşturulmuştur. Bu sebeple ilk olarak kalite evinin planlama matrisi oluşturulacaktır. Planlama matrisinin müşteri istekleri olarak da adlandırılan satırlarında analitik ağ süreci sonunda önem değeri 0'dan büyük olan 12 faktör yer almaktadır. "Ağırlıklar" sütununda her bir faktörün analitik ağ süreci ile belirlenmiş ağırlığı yer almaktadır. "Güncel Değerler" sütunu doldurulurken her bir faktör için Türkiye'nin şu anki durumu 1 ile 5 arasında puanlanmıştır. Puanlama aşamasında, anket çalışmasının sonuçlarından yararlanılmıştır. 5 değeri, ilgili faktörün Türkiye'de imalat sanayinde endüstri 4.0'a geçişi çok olumsuz etkilediği, 1 değeri ise ilgili faktörün Türkiye'de imalat sanayinde endüstri 4.0'a geçiş sürecini daha az olumsuz etkilediği anlamına gelmektedir. Kalite evinde kullanılan puanlama sisteminin, ankette kullanılan sistemin tersi olması nedeniyle, kalite evinde kullanılan değerler, anket değerlerinin 5'ten çıkarılması ve elde edilen sonuca 1 eklenmesi ile bulunmuştur. Tablo 6'da faktörlere ilişkin anket değerleri ve bu anket değerleri kullanılarak bulunan güncel değerler verilmiştir.

Tablo 6. Faktörlere İlişkin Güncel Değerler

Faktörler	Anket Değeri	Güncel Değer
F2	3,55	2,45
F3	4,08	1,92
F5	4,17	1,83
F7	3,73	2,27
F10	4,02	1,98
F13	3,74	2,26
F15	3,98	2,02
F16	3,89	2,11
F18	3,80	2,20
F20	3,92	2,08
F21	3,76	2,24
F24	3,92	2,08

Faktörler için hedeflenen puan, "hedef değer" sütununda gösterilmiş ve 1-5 ölçeği kullanılarak değerlendirilmiştir. Hedef puan değerleri imalat sanayinde çalışan endüstri 4.0 konusunda uzman bir mühendis tarafından belirlenmiştir. Faktörlerin hedeflenen değerlere göre ne durumda oldukları "ilerleme oranı" sütunu ile ifade edilmiş olup bu oran hedef değer bugünkü değere bölünmesiyle elde edilmiştir. "Önem puanı" değerleri, "ilerleme oranı" değerlerinin analitik ağ süreci ile hesaplanan ağırlıkların çarpılması ile belirlenmiştir. "Yüzde önem" değerleri, önem puanların toplanması ve her faktörün önem puanının bu toplama bölünmesi yoluyla bulunmuştur. Planlama matrisi Tablo 7'de sunulmuştur.

Buna göre eğitim kümesinin ilk faktörü olan fabrikalarda iş başında eğitim imkânlarının yetersizliği ve teknik eğitim eksikliği, başka bir deyişle F2 faktörünün % önem derecesinin hesaplanmasını incelemek gerekirse şu şekilde açıklanabilir: F2'nin hedef değeri olan 4, güncel değeri olan 2,45'e bölünmüş ve elde edilen 1,63 değeri ilerleme oranı olarak alınmıştır. F2'nin ağırlık değeri (0,076) ile ilerleme oranı (1,63) çarpılarak önem puanı 0,125 olarak hesaplanmıştır. Bu puan, tüm önem puanlarının toplamı olan 2,11 değerine bölünüp çıkan sonuç 100 ile çarpılarak F2 için % önem puanı 5,91 olarak belirlenmiştir.

Faktörlerin neden oldukları olumsuz etkileri azaltmak ve/veya ortadan kaldırmak için, endüstri 4.0 konusunda bilgi ve tecrübe sahibi bir mühendis ile görüşülerek aşağıdaki düzeltici faaliyetler belirlenmiştir:

- Fabrika süreçlerini endüstri 4.0'a uyumlu hale getirme
- Sektör ihtiyaçlarını dikkate alarak, meslek liselerinde ve üniversitelerde bölümler açma
- Çalışanlara proje geliştirmeleri için teknik imkan ve zaman sağlama
- Fabrikadaki tüm teknik ve ofis çalışanlarına endüstri 4.0 eğitimleri vererek ortak bir anlayış oluşturma
- Teknolojik imkanları artırıcı kararlar alma
- Bilişim altyapısını artırma
- Devletin proje teşvikleri sağlama
- Ar-Ge çalışmalarına daha fazla önem verilmesini sağlama
- Devletin resmi prosedürleri azaltma yoluna gitmesi
- Çalışanlar için endüstri 4.0'a uygun kariyer planlaması yapılması
- Endüstri 4.0'a yönelik devlet politikalarının stabil hale getirilmesi
- Yurt dışından alımlara kota koyma ve yerli üretimi teşvik etme
- Devletin robot yapma ve bu yönde geliştirilecek yazılım ve donanımlara yönelik eğitim imkanları, teşvik primleri ve politikalar oluşturma
- Simülasyonun hem devlet hem de işletmeler bazında teşvik edilmesi ve uygun eğitimlerin sağlanması.

İlişki matrisi, yukarıda verilen faaliyetler ile faktörler arasındaki ilişkiler tanımlanarak oluşturulur. Bunun için her bir düzeltici faaliyetin, faktörler üzerinde bir etkisinin olup olmadığı ve eğer etki varsa bu etkinin derecesi Tablo 8'de sunulan simgeler kullanılarak belirlenmiştir. İlişki matrisi Tablo 9'da sunulmuştur.

İlişki matrisinde, faaliyetlerin mutlak ve nispi önem derecelerinin bulunmasında aşağıda verilen formüller kullanılmıştır:

Mutlak Önem =

$$\sum_{\text{faktörler}} \text{Faaliyetlerin Etki Derecesi} \times \text{Faktörlerin \% Önemleri} \quad (1)$$

$$\text{Nispi Önem} = \frac{\text{Mutlak Önem}}{\sum_{\text{faaliyetler}} \text{Mutlak Önem}} \times 100 \quad (2)$$

Tablo 7. Planlama Matrisi

Sınıf	Faktör Kısaltması	Faktör Açıklaması	Ağırlıklar	Güncel Değerler	Hedef Değer	İlerleme Oranı	Önem Puanı	% Önem
Eğitim	F2	Fabrikalarda iş başında eğitim imkanlarının yetersizliği ve teknik eğitim eksiklikleri	0,07634	2,45	4	1,632653061	0,1246351	5,912
	F3	Endüstri 4.0 kavramlarının yeterince anlaşılabilmesi	0,22241	1,92	5	2,604166667	0,5791823	27,473
	F24	Bilgi ve teknolojiyi etkin kullanamama	0,01234	2,08	4	1,923076923	0,0237308	1,1257
Teknoloji ve Altyapı	F7	Fabrikalardaki süreçlerin Endüstri 4.0'a uygun olmaması	0,22334	2,27	5	2,202643172	0,4919449	23,335
	F13	İşletmenin tüm birimlerini Endüstri 4.0'a entegre etmenin zor olması	0,06803	2,26	5	2,212389381	0,1505	7,1389
	F18	Bilişim altyapısı eksikliği ve teknolojik yetersizlikler	0,0523	2,2	4	1,818181818	0,0950891	4,5105
Ekonomi ve Politika	F5	İşletmelerin gelecek planları yapmak yerine bugünkü sorunlara odaklanılması	0,08905	1,83	3	1,639344262	0,1459902	6,925
	F10	Yüksek ilk yatırım maliyeti ve bakım maliyetlerinin yüksekliği	0,04456	1,98	5	2,525252525	0,1125278	5,3377
	F15	İşletmelerin AR-GE çalışmaları için ayırdığı kaynakların yetersiz olması	0,03013	2,02	4	1,98019802	0,0596673	2,8303
	F16	Değişken devlet politikaları ve dışa bağımlılık	0,02461	2,11	3	1,421800948	0,0349948	1,66
Teknik Yöntemler ve Uygulamalar	F20	Robot, yazılım, donanım geliştirmeye yönelik politika ve know-how eksiklikleri	0,07081	2,08	4	1,923076923	0,1361769	6,4595
	F21	İşletmenin simülasyonunun sanal ortamda doğru olarak modellenememesi	0,08609	2,24	4	1,785714286	0,1537232	7,2918
							2,1081624	100

Tablo 8. İlişki Matrisi Simgeleri ve Anlamları

Simge	İlişki	Ağırlık
⊕	Güçlü	9
0	Orta	3
Δ	Zayıf	1
-	İlişki Yok	0

Tablo 9. İlişki Matrisi

Sınıf	Faktör Kısaltması	Faktör Açıklaması	Ağırlıklar	Fabrika süreçlerini Endüstri 4.0'a uyumlu hale getirme	Üniversitelerde ve meslek liselerinde sektör ihtiyaçlarına yönelik bölümler açma	Çalışanlara proje geliştirme için teknik imkan ve zaman sağlama	Fabrikadaki tüm çalışanlara Endüstri 4.0 eğitimleri verme	Teknolojik imkanları artırıcı kararlar alma	Bilişim altyapısını artırma	Devletin proje tevkifleri sağlanması	Ar-Ge çalışmalarına daha fazla önem vermesini sağlama	Devletin resmi prosedürleri azaltma yoluna gitmesi	Çalışanlar için Endüstri 4.0'a uygun kariyer planlaması yapılması	Endüstri 4.0'a yönelik devlet politikalarının stabil hale getirilmesi	Yurt dışından alımlara kota koyma ve yerli üretimi teşvik etme	Devletin robot yapma, yazılım ve donanım geliştirmeye yönelik eğitim imkanları, tevkif primleri ve politikalar	Simülasyonun hem devlet hem işletme bazında tevkif edilmesi, uygun eğitimlerin sağlanması
Eğitim	F2	Fabrikalarda iş başında eğitim imkanlarının yetersizliği ve teknik eğitim eksiklikleri	0,07634		0		⊕										
	F3	Endüstri 4.0 kavramlarının yeterince anlaşılabilmesi	0,22241		⊕	Δ	⊕						Δ	Δ			
	F24	Bilgi ve teknolojiyi etkin kullanamama	0,01234			⊕		⊕		0	Δ		Δ				
Teknoloji ve Altyapı	F7	Fabrikalardaki süreçlerin Endüstri 4.0'a uygun olmaması	0,22334	⊕		0	0	Δ									
	F13	İşletmenin tüm birimlerini Endüstri 4.0'a entegre etmenin zor olması	0,06803	⊕		⊕	0	Δ	Δ								
	F18	Bilişim altyapısı eksikliği ve teknolojik yetersizlikler	0,0523		0			⊕	⊕								0
Ekonomi ve Politika	F5	İşletmelerin gelecek planları yapmak yerine bugünkü sorunlara odaklanması	0,08905								⊕		⊕				
	F10	Yüksek ilk yatırım maliyeti ve bakım maliyetlerinin yüksekliği	0,04456							⊕							
	F15	İşletmelerin AR-GE çalışmaları için ayırdığı kaynakların yetersiz olması	0,03013							⊕	⊕	Δ					
	F16	Değişken devlet politikaları ve dışa bağımlılık	0,02461							0		0		⊕	⊕	Δ	
Teknik Yöntemler ve Uygulamalar	F20	Robot, yazılım, donanım geliştirmeye yönelik politika ve know-how eksiklikleri	0,07081		0			0			Δ	Δ			0	⊕	Δ
	F21	İşletmenin simülasyonunun sanal ortamda doğru olarak modellenememesi	0,08609	0	0			Δ									⊕

Hesaplamanın nasıl yapıldığı şu şekilde açıklanabilir. "Bilişim altyapısını artırma" faaliyetinin hangi faktörleri ne kadar etkilediği ilişki matrisi incelenerek belirlenir. İlişki matrisine göre, bu faaliyet, "bilişim altyapısı eksikliği ve teknolojik yetersizlikler (F18)" faktörü üzerinde 9, "işletmenin tüm birimlerini endüstri 4.0'a entegre etmenin zor olması (F13)" faktörü üzerinde 1 birimlik etkiye sahiptir. Etki eden faktöre ait her bir % önem puanı ile etki ağırlıkları çarpılıp toplanarak bu faaliyete ait mutlak önem bulunur. "Bilişim altyapısını artırma" faaliyetinin mutlak önemi bulunurken F18'in % önemi 4,51 ile etki ağırlığı olan 9 çarpılır. Ardından bu çarpıma ek olarak diğer etkili faktör olan F13'ün % önemi 7,14 ile etki ağırlığı olan 1

çarpılıp toplanır. Sonuç olarak $(4,51*9)+(7,14*1) = 47,73$ değeri elde edilir.

Nispi önem yüzdesi bulunurken öncelikle tüm mutlak önem değerleri toplanır. Burada sonuç 1839,87 olarak bulunmuştur. Sonrasında her bir faaliyete ait mutlak önem değeri, toplam mutlak önem değerine bölünür. Bilişim altyapısını artırma faaliyetinin nispi önem yüzdesi $(47,73/1839,87)*100$ işlemi ile %2,59 olarak hesaplanmıştır. Mutlak ve nispi önem dereceleri Tablo 10'da gösterilmiştir. "Fabrikadaki tüm çalışanlara endüstri 4.0 eğitimleri verme" faaliyeti, en yüksek nisbi önem derecesine sahip faaliyetidir.

ve kaynak kaybetmezler. Bu durumun iyileşmesi için devletin doğru politikalar izlemesi büyük önem taşımaktadır.

Üçüncüsü ise fabrika süreçlerini endüstri 4.0'a uyumlu hale getirememektir. Hâlihazırda fabrikalarda verilerin nasıl tutulacağı, alınan verilerin nasıl izlenmesi gerektiği ve hangi verinin ne derece önemli olduğu gibi konularda büyük sorunlar yaşanmaktadır. Veri analizlerinin doğru yapılamaması sonucunda da doğru tekniklerle doğru iyileştirmeler yapılamamaktadır. Bu durumlar iyileştirildikten sonra süreç iyileştirme çalışmalarının hızla yerine getirilmesi gerekmektedir. Önemli olan fazla kaynak kullanmadan en yüksek verimliliği sağlayabilecek küçük, basit ama kesin çözümler sağlayabilmektir. Gerektiği zaman gerektiği kadar otomasyon süreçleri oluşturularak endüstri 4.0 konsepti içinde yer alan karanlık fabrikalara geçiş sağlanmalıdır.

6. Sonuçlar

Bu çalışmada, ilk olarak literatür araştırması yapılarak Türkiye'nin endüstri 4.0'a geçiş sürecini olumsuz etkileyen faktörler belirlenmiştir. Daha sonra, faktörlerin sisteme ve birbirlerine olan etkileri analitik ağ süreci ve DEMATEL yöntemleri ile analiz edilmiş ve faktörlerin önem düzeyleri bulunmuştur. Son olarak, kalite evi yöntemi ile analiz ve iyileştirme faaliyetleri sunulmuştur. Kalite evi ile analiz sonucunda mutlak önemi en yüksek olan, "fabrikadaki tüm çalışanlara endüstri 4.0 eğitimleri verme" faaliyeti yapılacak iyileştirmeler açısından önem kazanmıştır. "Sektör ihtiyaçlarına yönelik bölümlerin açılması" ve "fabrika süreçlerinin endüstri 4.0'a uygun hale getirilmesi" diğer önemli faaliyetlerdir. Bu konularda yapılacak iyileştirmeler, Türkiye'de imalat sanayinde endüstri 4.0'a geçiş sürecini olumsuz etkileyen birden fazla faktörün etkisini ortadan kaldırmaya destek olacak niteliktedir.

Kaynakça

- Akben, İ., & Avcı, İ. İ. (2018). Endüstri 4.0 ve Karanlık Üretim: Genel Bir Bakış. *Türk Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 3(1), 26-37.
- Arslan, F. (2018). Türkiye'de sürdürülebilir üretimde organize sanayi bölgelerinin rolü: Manisa organize sanayi bölgesi (MOSB) örneği. *Marmara Coğrafya Dergisi*(37), 167-182.
- Bulut, E., & Akçacı, T. (2017). Endüstri 4.0 ve inovasyon göstergeleri kapsamında Türkiye analizi. *ASSAM Uluslararası Hakemli Dergi*, 4(7), 55-77.
- Fırat, O. Z., & Fırat, S. Ü. (2017). Endüstri 4.0 Yolculuğunda Trendler ve Robotlar. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 46(2), 211-223.
- Gabus, A., & Fontela, E. (1972). *World problems, an invitation to further thought within the framework of DEMATEL*. Retrieved from Geneva, Switzerland:
- Kamble, S. S., Gunasekaran, A., & Sharma, R. (2018). Analysis of the driving and dependence power of barriers to adopt industry 4.0 in Indian manufacturing industry. *Computers in Industry*, 101, 107-119.
- Kılıç, S., & Alkan, R. M. (2018). Dördüncü sanayi devrimi Endüstri 4.0: Dünya ve Türkiye değerlendirmeleri. *Girişimcilik İnovasyon ve Pazarlama Araştırmaları Dergisi*, 2(3), 29-49.
- Koçak, A., & Diyadin, A. (2018). Sanayi 4.0 Geçiş Süreçlerinde Kritik Başarı Faktörlerinin DEMATEL Yöntemi ile Değerlendirilmesi *Ege Akademik Bakış*, 18(1), 107-120.

- Nuroğlu, E., & Nuroğlu, H. (2018). Türkiye ve Almanya'nın sanayide dijital dönüşümü: Yol haritaları ve şirketlerin karşılaştırması. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 23, 1537-1560.
- Özkaya, A., Gür, Ş., & Eren, T. (2019). Endüstri 4.0'a Geçiş Sürecinin Analitik Ağ Süreci ile Değerlendirilmesi. *Başkent Üniversitesi Ticari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 3(2), 59-74.
- Özsoylu, A. F. (2017). Endüstri 4.0. *Çukurova Üniversitesi İİBF Dergisi*, 21(1), 41-64.
- Öztürk, E., & Koç, K. H. (2017). Endüstri 4.0 ve Mobilya Endüstrisi. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 6(3), 786-794.
- Saaty, T. L. (1996). *Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process*. Pittsburgh, PA: RWS Publications
- Singh, R., & Bhanot, N. (2020). An integrated DEMATEL-MMDE-ISM based approach for analysing the barriers of IoT implementation in the manufacturing industry. *International Journal of Production Research*, 58(8), 2454-2476.
- Soylu, A. (2018). Endüstri 4.0 ve girişimcilikte yeni yaklaşımlar. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 32, 43-57.
- Şener, S., & Eşevli, B. (2017). Endüstri 4.0'da yeni iş kolları ve yüksek öğrenim. *Mühendis Beyinler Dergisi*, 2017, 1(2), 1-13.
- Tunçel, S., Candan, Z., & Satır, A. (2017). Mobilya endüstrisinde gelecek vizyonu: Endüstri 4.0. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 6(3), 152-159.
- Türkeş, M. C., Oncioiu, I., Aslam, H. D., Marin-Pantelescu, A., Topor, D. I., & Capuşeanu, S. (2019). Drivers and Barriers in Using Industry 4.0: A Perspective of SMEs in Romania. *Processes*, 7(3), 153.
- Ünlü, F., & Atik, H. (2018). Türkiye'deki işletmelerin Endüstri 4.0'a geçiş performansı: Avrupa Birliği ülkeleri ile karşılaştırmalı ampirik analiz. *Ankara Avrupa Çalışmaları Dergisi*, 17(2), 431-463.
- Yalçın, M. F. (2018). Küresel rekabette Türkiye açısından dönüm noktası: Sanayi 4.0. *Sosyoekonomi*, 26(36), 225-233.



6-Benzilaminopurin ve Thidiazuron'un Bazı Yonca Çeşitlerinde İn Vitro Sürgün Rejenerasyonuna Etkisi

Nilgün Ekinci¹, Satı Uzun^{2*}

¹ Erciyes Üniversitesi, Seyrani Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3148-6966)

² Erciyes Üniversitesi, Seyrani Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9919-3145)

(İlk Geliş Tarihi 23 Haziran 2020 ve Kabul Tarihi 31 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.756805)

ATIF/REFERENCE: Ekinci, N. & Uzun, S. (2021). 6-Benzilaminopurin ve Thidiazuron'un Bazı Yonca Çeşitlerinde İn Vitro Sürgün Rejenerasyonuna Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 600-603.

Öz

Bu çalışmada Gea, Prosementi, Savaş ve Ömerbey yonca çeşitlerinde kotiledon boğum eksplantında farklı 6-benzilaminopurin (BAP) ve thidiazuron (TDZ) konsantrasyonlarının in vitro sürgün rejenerasyonu üzerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, Gea, Prosementi, Savaş ve Ömerbey yonca çeşitlerine ait kotiledon boğumlar, TDZ (0.3, 0.6 ve 1.2 mg/L) ve BAP (1, 2 ve 4 mg/L)'ın farklı konsantrasyonları ile 0.5 mg/L α -naftalenasetik asit (NAA) ve 30 g/L sukroz içeren 8 g/L agarla katılaştırılmış 6 farklı Murashige ve Skoog (MS) temel besin ortamında kültüre alınmıştır. Denemeler 3 tekerrürlü ve her tekerrürde 6 eksplant olacak şekilde tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre yürütülmüştür. Araştırma sonucunda Prosementi ve Gea çeşitlerinde en yüksek sürgün rejenerasyonu frekansı 0.6 mg/L TDZ+0.5 mg/L NAA (%100 ve 77.78), Savaş çeşidinde 2 mg/L BAP+0.5 mg/L NAA (% 88.89) ve Ömerbey çeşidinde ise 0.3 mg/L TDZ+0.5 mg/L NAA (%88.89) içeren MS besin ortamlarından elde edilmiştir. Eksplant başına ortalama Prosementi çeşidinde 2.22, Gea çeşidinde 3.21, Savaş çeşidinde 1.67 ve Ömerbey çeşidinde ise 1.96 adet sürgün kaydedilmiştir

Anahtar Kelimeler: *Medicago sativa*, kotiledon boğum, sürgün rejenerasyonu

Effect of 6-Benzylaminopurine and Thidiazuron on in Vitro Shoot Regeneration of Alfalfa Cultivars

Abstract

The effects of 6-benzyl-aminopurine (BAP) and thidiazuron (TDZ) concentrations on in vitro shoot regeneration in Gea, Prosementi, Savaş and Ömerbey cultivars were investigated in this study. For this purpose cotyledon nodes of Gea, Prosementi, Savaş and Ömerbey cultivars were cultured on 6 different Murashige and Skoog (MS) basal media containing different concentration of TDZ (0.3, 0.6 and 1.2 mg/L) and BAP (1, 2 and 4 mg/L), 0.5 mg/L α -naphthalenacetic acid (NAA), 30 g/L sucrose solidified with 8 g/L agar. The research was carried out in a randomized plots-factorial experimental design with 3 replications and 6 explants per replication. As a result of research, the highest shoot regeneration frequency was obtained from the MS media containing 0.6 mg/LTDZ+0.5 mg/L NAA in Prosementi and Gea cultivars (100 and 77.78 %), and from 2 mg/L BAP+0.5 mg/L NAA in Savaş cultivar (88.89 %) and from 0.3 mg/LTDZ+ 0.5 mg/L NAA in Ömerbey cultivar 88.89 %). Average number of shoots per explant was 2.22 in Prosementi cultivar, 3.21 in Gea cultivar, 1.67 in Savaş and 1.96 in Ömerbey cultivars.

Keywords: *Medicago sativa*, cotyledonne node, shoot regeneration

* Sorumlu Yazar: Erciyes Üniversitesi, Seyrani Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Kayseri, Türkiye, ORCID: 0000-0001-9919-3145, scocu@erciyes.edu.tr

1. Giriş

Yonca (*Medicago sativa* L.) çok geniş adaptasyon yeteneğine sahip yeryüzünde en fazla tarımı yapılan bir yem bitkisidir. Bu bitki yüksek verim, adaptasyon yeteneği ve besin kalitesi nedeniyle yem bitkilerinin kraliçesi olarak adlandırılmakta ve dünya üzerinde yaklaşık 35 milyon ha alanda tarımı yapılmaktadır (Gökalp vd., 2017). Yonca otu %15-22 ham protein içermekte, vitaminler (A, B, C, D, E) ve mineral maddeler bakımından oldukça zengindir (Kumar, 2011). Dünyada en fazla yetiştirilen yem bitkisi olmasına rağmen hala yoncanın tarımında ve yem bitkisi olarak kullanımında düşük tohum verimi, yabancı otlar, hastalık ve zararlılar, antibesinsel faktörler, düşük sindirilebilirlik, yetersiz besin elementi kullanımı gibi bazı sorunlarla karşılaşmaktadır (Kumar 2011). Kendine uyumsuzluk, kendileme depresyonu ve yüksek heterozigotluk yonca ıslahı için en önemli sorunlar arasındadır. Yoncadaki bu genetik kompleks yapı önemli tarımsal karakterleri kontrol eden genleri belirlemenin önündeki en büyük engeldir (Kumar, 2011). Ancak son yıllarda alternatif bir teknik olarak transgenik bitki teknolojisi yonca ıslahında tarımsal özellikleri iyileştirmek için kullanılmaktadır. Transgenik bitki teknolojisinde ise doku kültürleri oldukça önemli bir yer tutmaktadır.

Farklı gen aktarım teknikleriyle tek bir bitki hücrelerine herhangi bir organizmadan izole edilen bir gen aktarılabilen ve bu hücreden bitkilerin elde edilmesi için uygun ve tekrarlanabilir rejenerasyon sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda; in vitro bitki rejenerasyonu genellikle somatik embriyogenesis yoluyla yapılmıştır (Moltrasio vd., 2004). Ancak yoncada yapılan somatik embriyogenesis çalışmalarında büyük ölçüde genotipe bağlı bir rejenerasyon görülmektedir (Brown ve Atanassov, 1985; Chen ve Marowitch, 1987; Moltrasio vd., 2004). Ayrıca yoncada in vitro direk organogenesis çalışmaları da ise sürgün ucu, boğum ve kotiledon boğum gibi eksplantlar kullanılmıştır (Pupilli vd., 1992; Li vd., 2009; Kumar vd., 2012; Nofouzi vd., 2019; Gökşin Bahar vd., 2020). Sürgün rejenerasyon frekansı gen aktarımı çalışmalarının başarısında önemli bir rol oynamaktadır. Başarılı gen aktarımı için verimli ve genotipten bağımsız bir rejenerasyon protokolü tercih edilmektedir. Kotiledon boğumlar son yıllarda genotipten bağımsız bir rejenerasyon protokolü için sıklıkla kullanılmaktadır (Li.vd., 2009; Kumar vd., 2012). Bu çalışmada da Türkiye’de tescilli bazı yonca çeşitlerinin vitro koşullarda kotiledon boğum eksplantlarının rejenerasyon frekansının belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Bitki materyali ve doku kültürü koşulları

Çalışmada; Prosementi Bologna, Gea, Savaş ve Ömerbey yonca çeşitleri denenmiştir. Çalışmada temel besi yeri olarak MS (Murashige ve Skoog, 1962) ortamı kullanılmıştır. Tüm ortamlara 30 g/L sukroz eklenmiş ve 8 g/L agar ile katılaştırılmıştır. Hazırlanan besin ortamlarının pH’sı 5.6 ile 5.8 (1N NaOH veya 1 N HCl ile) arasında ayarlanarak, besin ortamları otoklavda 121°C’de 20 dakika süreyle steril edilmiştir. Rejenerasyon denemelerinde Magenta kapları kullanılmıştır (Sigma-Aldrich, 77x77x 97; Şekil 1). Tüm kültürler 22±2°C’de, 16/8 saat aydınlık/karanlık fotoperiyotta, ve 3000 lüks ışık yoğunluğundaki iklim kabini içerisinde bekletilmiştir.

2.2. Tohum sterilizasyonu, eksplant izolasyonu ve kültürlerin oluşturulması

Çeşitlere ait tohumlar manyetik karıştırıcı kullanılarak %50 ticari çamaşır suyu içerisinde 15 dakika süre ile sterilize edildikten sonra; 3 defa 5’er dakika olmak üzere saf sudan geçirilip, 30 g/L sukroz, 8 g/L agar içeren MS besin ortamına ekilmiştir. Kültür başlangıcından 15-16 gün sonra kotiledon boğum eksplantları sürgün rejenerasyonu amacıyla TDZ veya BAP’ın farklı konsantrasyonlarını ve NAA ile kombinasyonlarını içeren 6 farklı MS besin ortamında kültüre alınmıştır. TDZ konsantrasyonları litreye 0.3-0.6 ve 1.2 mg, BAP konsantrasyonları ise litreye 1, 2 ve 4 mg olarak ayarlanmıştır. Ayrıca tüm ortamlara litreye 0.5 mg NAA eklenmiştir (Tablo 1). Kültür başlangıcında yaklaşık 2 ay sonra sürgün oluşturan eksplant yüzdeleri (%) ve eksplant başına sürgün sayıları (adet) belirlenmiştir.

2.3. Verilerin değerlendirilmesi

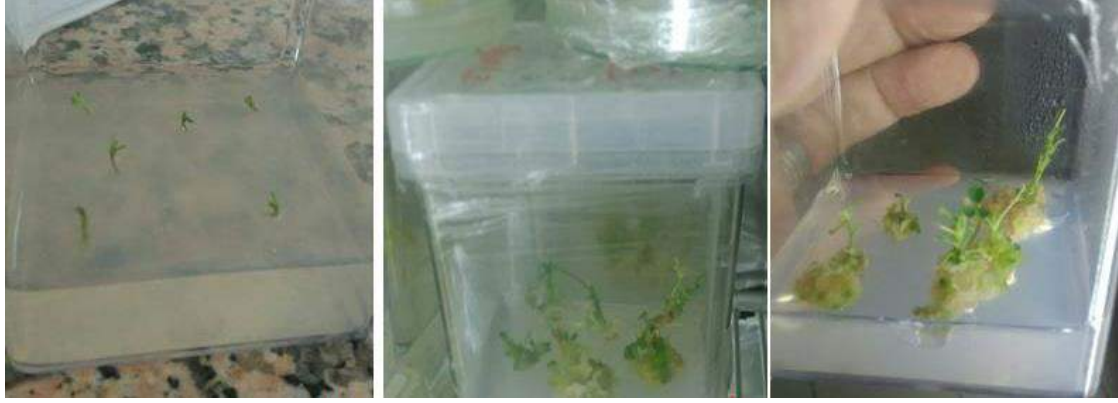
Deneme tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre yürütülmüştür. Her uygulama 3 defa tekrarlanmış ve her tekrara 6 adet kotiledon boğum yerleştirilmiştir. Yüzde değerler varyans analizinden önce “arcsin” transformasyonuna tabi tutulmuştur. Ortalamalar arasındaki farklılık “Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi” ile belirlenmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Araştırmada Prosementi, Gea, Savaş, Ömerbey çeşitlerine ait kotiledon boğum eksplantları çimlendirme başlangıcından 15 gün sonra 6 farklı ortamda 3 tekerrürlü olarak kültüre alınmışlardır. Kültür başlangıcından yaklaşık 2 ay sonra sürgün oluşturan eksplant yüzdeleri ve eksplant başına sürgün sayıları belirlenmiştir. Yapılan istatistiksel analiz sonucunda sürgün oluşturan eksplant yüzdesinde çeşit, ortam ve çeşit × ortam etkisi istatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli bulunurken, eksplant başına sürgün sayısında ise çeşit ve çeşit × ortam etkisi istatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Deneme sonucunda en yüksek sürgün oluşturan eksplant yüzdesi % 86.22 ile Prosementi çeşidinden elde edilmiş olup bunu sırasıyla %70.37, %64.81 ve %47.22 ile Ömerbey, Savaş ve Gea çeşitleri izlemiştir (Tablo 1). Ortamlar açısından tablo incelendiğinde, en yüksek sürgün oluşturan eksplant yüzdesi %80.56 ile 2 mg/L BAP içeren ortamdan elde edilmiş olup bunu sırasıyla 1 mg/L BAP, 0.6 mg/L TDZ, 4 mg/L BAP, 0.3 mg/L TDZ ve 1.2 mg/L TDZ içeren ortamlar izlemiştir. Çeşit × ortam etkisinde en yüksek sürgün rejenerasyonu %100 ile Prosementi çeşidinde 0.6 mg/L TDZ içeren ortamda, en düşük ise %27.78 ile Gea çeşidinde 0.3 ve 1.2 mg/L TDZ içeren ortamlarda kaydedilmiştir.

En yüksek eksplant başına ortalama sürgün sayısı 3.21 adet ile Gea çeşidinden, en düşük ise 1.67 adet ile Savaş çeşidinden elde edilmiştir (Tablo 2). Bitki büyüme düzenleyiciler ve dozlarının eksplant başına sürgün sayısına etkisi istatistiksel olarak önemli olmamakla birlikte en yüksek sürgün sayısı 1.2 mg/L TDZ dozunda belirlenmiştir. Çeşit × ortam etkisinde tablo değerlendirildiğinde en yüksek sürgün sayısı 5.11 adet ile Gea çeşidinin 1.2 mg/l TDZ dozunda kültüre alınması sonucunda, en düşük değer ise 1.13 adet ile Savaş çeşidinin 1 mg/l BAP içeren ortamda kültüre alınması sonucu tespit edilmiştir.



Şekil 1. Kotiledon boğum eksplantında sürgün rejenerasyonu

Tablo 1. Bazı yonca çeşitlerinin farklı TDZ ve BAP dozlarında sürgün oluşturan eksplant yüzdeleri (%)

Bitki büyüme düzenleyiciler ve dozları	Çeşitler				Ortalama
	Prosementi	Gea	Savaş	Ömerbey	
0.3 mg/L TDZ	66.67 (54.74) c-h*	27.78 (31.54) ı	38.89 (38.51) ghı	88.89 (73.94) abc	55.55 b
0.6 mg/L TDZ	100.00 (90.00) a	77.78 (62.18) b-f	55.56 (48.25) e-ı	50.00 (45.00) f-ı	70.83 a
1.2 mg/L TDZ	72.22 (58.46) c-g	27.78 (31.06) ı	61.11 (51.97) d-ı	55.56 (48.25) e-ı	54.17 b
1 mg/L BAP	83.33 (70.21) a-d	55.56 (48.25) e-ı	83.33 (65.90) b-f	66.67 (55.21) c-h	72.22 a
2 mg/L BAP	88.89 (73.94) abc	61.11 (51.49) d-ı	88.89 (73.94) abc	83.33 (70.21) b-e	80.56 a
4 mg/L BAP	94.44 (81.97) ab	33.33 (34.79) hı	61.11 (51.97) d-ı	77.78 (66.49) b-e	66.67 a
Ortalama	86.22 a	47.22 c	64.81 b	70.37 b	

*: "İtalik veya koyu farklı küçük harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık 0.05 düzeyinde önemlidir" Parantez içleri transformasyon değerlerini göstermektedir.

Tüm ortamlarda 0.5 mg/L NAA bulunmaktadır

Tablo 2. Bazı yonca çeşitlerinin farklı TDZ ve BAP dozlarında eksplant başına sürgün sayıları (adet)

Bitki büyüme düzenleyiciler ve dozları	Çeşitler				Ortalama
	Prosementi	Gea	Savaş	Ömerbey	
0.3 mg/LTDZ	2.33 d-g*	1.50 f-ı	2.28 d-h	2.40 d-g	2.13
0.6 mg/LTDZ	2.61 c-e	2.48 c-f	1.33 g-ı	2.00 d-ı	2.11
1.2 mg/LTDZ	2.17 d-ı	5.11 a	1.25 hı	1.75 e-ı	2.57
1 mg/L BAP	2.14 d-ı	3.92 b	1.13 ı	1.66 e-ı	2.21
2 mg/L BAP	2.31 d-ı	3.44 bc	1.89 d-ı	1.61 e-ı	2.31
4 mg/L BAP	1.75 e-ı	2.83 cd	2.13 d-ı	2.33 d-g	2.26
Ortalama	2.22 b	3.21 a	1.67 d	1.96 bc	

*: "İtalik veya koyu farklı küçük harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık 0.05 düzeyinde önemlidir"

Tüm ortamlarda 0.5 mg/L NAA bulunmaktadır.

Prosementi, Gea, Savaş ve Ömerbey çeşitlerinde kotiledon boğum eksplantlarında sürgün rejenerasyonu amacıyla yürütülen deneme sonucunda sürgün rejenerasyonu frekansı ve eksplant başına sürgün sayılarında çeşit × ortam interaksyonunun önemli olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Nofouzi vd. (2019)'un elde ettikleri sonuçlarda benzerlik göstermektedir. Nofouzi vd (2019)'da genotip ve bitki büyüme düzenleyici konsantrasyonlarının yoncada kotiledon boğum eksplantında rejenerasyon frekansı ve eksplant başına sürgün sayısında önemli olduğunu bildirmektedir. Benzer şekilde Ding vd. (2003), 16 farklı yonca çeşidinde TDZ ve NAA içeren ortamda sürgün

rejenerasyonu frekansının çeşitlere göre %33- 85 arasında değiştiğini, Kumar vd. (2012) ise 5 farklı yonca çeşidinde apikal meristemlerden in vitro direk sürgün rejenerasyonu üzerine TDZ ve BA'nın etkisini inceledikleri çalışmada sürgün rejenerasyonu frekansının çeşitlere göre ve bitki büyüme düzenleyicilere göre %67 ile 93 arasında değiştiğini rapor etmişlerdir. Bu çalışmada sürgün oluşturan eksplant yüzdesi %27.78 ile %100 arasında değişim göstermiş olup en yüksek Prosementi çeşidinde en düşük ise Gea çeşidinde tespit edilmiştir. Eksplant başına sürgün sayıları ise 1.13-5.11 arasında değişim göstermiş olup, en yüksek eksplant başına sürgün sayısı Gea çeşidinde, en düşük ise Savaş çeşidinden

elde edilmiştir. Nofouzi vd. (2019) en fazla eksplant başına sürgün sayısını Nimet çeşidinde 5 ve 6.33 adet ile sırasıyla 0.25 mg/L BAP ve 0.55 mg/L TDZ, Savaş çeşidinde ise 8.50 ve 4.66 adet ile sırasıyla 0.4 mg/L BAP ve 0.15 mg/L TDZ içeren ortamlarda bildirmiştir. Li vd. (2009), 8 farklı yonca genotipinde kotiledon boğum eksplantında TDZ ve AgNO₃ içeren besin ortamlarında eksplant başına 2.8-5.9 adet sürgün elde ederken; Kumar vd. (2012) BAP, kinetin ve TDZ'nin farklı konsantrasyon ve kombinasyonlarında eksplant başına 0.2-35 adet sürgün elde etmişlerdir. Çalışmalar arasındaki farklılıklar çeşitlerden veya kullanılan bitki büyüme düzenleyicilerin farklı konsantrasyon ve kombinasyonlarından kaynaklanmış olabilir. Nitekim Kumar vd. (2012), TDZ'nin BAP ya da kinetin ile kombinasyonlarının adventif sürgün sayısını artırdığını ve TDZ-BAP kombinasyonlarının TDZ-kinetin kombinasyonlarına göre daha iyi sinerjistik etki gösterdiğini bildirmektedir.

4. Sonuç

BAP ve TDZ içeren ortamlarda kotiledon boğum eksplantından in vitro sürgün rejenerasyonunun amaçlandığı denemelerde en yüksek sürgün rejenerasyon frekansı Prosementi çeşidinde, en düşük Gea çeşidinde kaydedilmiştir. Prosementi ve Gea çeşitlerinde en yüksek sürgün rejenerasyonu frekansı 100 ve %77.78 ile 0.6 mg/L TDZ+ 0.5 mg/L NAA içeren besin ortamından, Savaş çeşidinde % 88.89 ile 2 mg/L BAP+ 0.5 mg/L NAA içeren besin ortamından ve Ömerbey çeşidinde ise %88.89 ile 0.3 mg/LTDZ+ 0.5 mg/L NAA içeren besin ortamlarından elde edilmiştir. Eksplant başına en fazla sürgün sayısı 5.11 adet ile Gea çeşidinde 1.2 mg/LTDZ+0.5mg/L NAA içeren besin ortamında tespit edilmiştir. Kotiledon boğumlar in vitro bitki rejenerasyonu için oldukça elverişli eksplant kaynağıdır, farklı sitokinin kaynakları, doz ve kombinasyonları ile yoncada sürgün rejenerasyon oranı ve eksplant başına sürgün sayılarının artırılması yönünde çalışmalara devam edilmesi önerilmektedir.

5. Teşekkür

Bu çalışma Nilgün EKINCI'nin yüksek lisans tezinden hazırlanmıştır.

Kaynakça

- Gökalp, S., Yazıcı, L., Çankata, N. & İspirli, K. (2017). Bazı yonca (*Medicago sativa* L.) çeşitlerinin Tokat-Kozova ekolojik koşullarında ot verimi ve kalite performanslarının belirlenmesi. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 34(3): 114-127.
- Gökşin Bahar, F., Bayraktar, M. & Gürel, A. (2020). 'Kalender' Yonca (*Medicago sativa* L.) Çeşidinin In vitro Çoğaltımı Üzerine Farklı Besin Ortamları, Sitokininler ve Eksplant Tiplerinin Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (19), 449- 459.
- Brown, D.C.W & Atanassov, A. (1985). Role of genetic background in somatic embryogenesis in *Medicago*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 4:111-122.
- Chen, T.H.H. & Marowitch, J. (1987). Screening of *Medicago falcata* germplasm for in vitro rejeneration. *Journal Plant Physiology*, 128:271-277.
- Ding, Y.L., Aldao-Humble, G., Ludlow, E., Drayton, M., Lin, Y.H., Nagel, J., Dupal, M., Zhao, G., Pallaghy, C., Kalla, R. &

- Emmerling, M. (2003). Efficient plant regeneration and *Agrobacterium*-mediated transformation in *Medicago* and *Trifolium* species. *Plant Science*, 165(6), pp.1419-1427.
- Kumar, S., Tiwari, R., Chandra, A., Sharma, A. V. & Bhatnagar, R. K. (2012). In vitro direct plant regeneration and *Agrobacterium*-mediated transformation of lucerne (*Medicago sativa* L.). *Grass and Forage Science*, 68(3), 459-468.
- Kumar, S. (2011). Biotechnological advancements in alfalfa improvement. *Journal of applied genetics*, 52(2), pp.111-124.
- Li, J.J., Wu, Y.M., Wang, T., Liu, J.X., 2009. In vitro direct organogenesis and regeneration of *Medicago sativa*. *Biologia plantarum*, 53(2): 325-328.
- Moltrasio, R., Robredo, C. G., Gómez, M. C., Paleo, A. H. D., Díaz, D. G., Rios, R. D. & Franzone, P. M. (2004). Alfalfa (*Medicago sativa*) somatic embryogenesis: genetic control and introduction of favourable alleles into elite Argentinean germplasm. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 77(2), 119-124.
- Murashige, T. & Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia plantarum*, 15(3), 473-497.
- Nofouzi, F., Oğuz, M. Ç., Khabbazi, S. D. & Ergül, A. (2019). Improvement of the in vitro regeneration and *Agrobacterium*-mediated genetic transformation of *Medicago sativa* L. *Turkish Journal of Agriculture & Forestry*, 43(1): 96-104.
- Pupilli, F., Damiani, F., Nenz, E. & Arcioni, S. (1992). *In Vitro* Propagation of *Medicago* and *Lotus* Species by Node Culture, *In Vitro Cellular Developmental Biology* 28: 167-171.



8620 Kalite Çeliklerin Sertlik ve Koroziif Aşınma Direncine Bor İlavesinin Etkisi

Engin Çevik^{1*}, Ferhat Sarıçam², Yavuz Sun³, Cemal Çarboğa⁴, Bünyamin Çiçek⁵

^{1*} Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metal. ve Malz. Müh. Bölümü, Karabük, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4863-8762), engincevik@karabuk.edu.tr

² Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metal. ve Malz. Müh. Bölümü, Karabük, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8319-7459), ferhatsaricam@karabuk.edu.tr

³ Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metal. ve Malz. Müh. Bölümü, Karabük, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7336-5591), ysun@karabuk.edu.tr

⁴ Nevşehir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metal. ve Malz. Müh. Bölümü, Nevşehir, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6781-4955), ccarboga@nevsehir.edu.tr

⁵ Hitit Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Çorum, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6603-7178), cicekbunyamin78@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 23 Eylül 2020 ve Kabul Tarihi 31 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.799099)

ATIF/REFERENCE: Çevik, E., Sarıçam, F., Sun, Y., Çarboğa, C. & Çiçek, B. (2021). 8620 Kalite Çeliklerin Sertlik ve Koroziif Aşınma Direncine Bor İlavesinin Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 604-609.

Öz

Bu çalışmada; farklı oranlarda bor ilave edilen 8620 kalite ticari çeliklerin koroziif aşınma davranışlarının belirlenmesi amacıyla %3,5 sodyum klorür (NaCl) çözeltisi içerisinde farklı yükler (10, 20 ve 40 N) altında koroziif aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sonrasında yüzey pürüzlülüğü ölçümleri yapılmış ve buradan elde edilen sonuçlar kullanılarak numunelerde meydana gelen hacimce kayıplar belirlenmiştir. Numunelerin aşınma karakteristikleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile analiz edilmiştir. 8620 kalite çeliklerin sertlik ve koroziif aşınma davranışları incelendiğinde optimum bor oranı 48 ppm olarak tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bor, Borlu çelik, 8620 çeliği, Koroziif aşınma.

The Effect of Boron Additives on Hardness and Corrosive Wear Resistance of 8620 Steels

Abstract

In this study; tribocorrosion tests were carried out under different loads (10, 20 and 40 N) in 3.5% sodium chloride (NaCl) solution in order to determine the corrosive wear behavior of 8620 grade commercial steels to which boron was added in different proportions. Subsequently, surface roughness measurements were made, and using the results obtained, the volume losses in the samples were determined. The wear characteristics of the samples were analysed by a scanning electron microscope (SEM). When the hardness and corrosive wear behavior of 8620 quality steels were examined, the optimum boron ratio was determined as 48 ppm.

Keywords: Boron, Boron steel, 8620 steel, Corrosive wear.

* Sorumlu Yazar: engincevik@karabuk.edu.tr

1. Giriş

Çelik; endüstride yaygın olarak kullanılan, ticari öneme sahip, demir (Fe) ve karbon (C) alaşımıdır. Uzun yıllardır kullanılmasına rağmen gelişen teknolojiyle beraber daha üstün özelliklere sahip çeliklere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebepten dolayı, özellikle imalat sanayinde aşınma ve korozyon sebebiyle meydana gelen malzeme kayıplarının önüne geçilebilmesi amacıyla farklı bileşimlere sahip çelik türleri geliştirilmiştir. 8620 kalite çelikler de bu eksikliği gidermek amacıyla üretilen çelikler arasındadır. AISI 8620 çelikleri dişli çark, piston pimleri ve mil yapımında yaygın olarak kullanılmakla beraber bu çeliklerinin aşınma davranışları ve mekanik özellikleri krom, nikel, molibden, tungsten ve vanadyum gibi alaşım elementlerinin ilavesi ile geliştirilebilmektedir [1]. Çelik sanayisinde alaşım elementi olarak kullanılan bor ise çeliğe sertleşme kabiliyeti sağlaması ile bilinmektedir. Fakat bu pozitif etki ancak belirli oranlarda bor ilavesi ile sağlanabilmektedir. Optimum oranın üzerinde yapılan bor ilavesi sertlik ve mekanik özelliklerde düşüşlere sebebiyet vermektedir [2, 3]. Örneğin Çarboğa ve arkadaşları 1040 çeliklerine ppm mertebesinde yapılan bor ilavesinde 23 ppm bor ilavesini optimum oran olarak belirlemişler ve bu oran üzerinde yapılan bor ilavesinin malzemenin aşınma davranışı üzerinde olumsuz etkilerini tespit etmişlerdir [4].

Yapılan literatür incelemesinde korozyon davranışlarının geliştirilmesine yönelik çalışmalar daha çok çeliklerin yüzeylerinin borla kaplanmasına yöneliktir [5,6]. Bazı kısıtlı araştırmalar gemi, köprü ve petrol platformu gibi korozif ortamın çok etkili olduğu platformların yapımında tercih edilen düşük karbonlu beynitik çeliklere bor katkısının korozyon direncini arttırdığını belirtmektedir [7,8]. Karacif ve arkadaşları ise SAE 1020 çeliğine düşük oranlarda yapılan bor ilavesinin hem asidik ortamda hem de tuz ortamında korozyon dayanımını olumsuz yönde etkilediğini rapor etmişlerdir [9]. Lakin, korozif aşınma davranışının incelendiği herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

Yapmış olduğumuz çalışmada AISI 8620 kalite çelikler farklı oranlarda bor ilavesi ile alaşımlandırılmış, üretilen çeliklerin mikro yapı, sertlik ve korozif aşınma davranışları belirlenmiştir. Elde edilen veriler ışığında sertlik ve korozif özellikler açısından 8620 kalite çelikler için optimum bor oranı belirlenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Deneyel çalışmalar için Tablo 1’de belirtilen oranlarda bor içeren 8620 kalite numuneler üretilmiştir. Döküm esnasında havadan eriyik metal içerisine girebilecek oksijen ve havada bulunan azotla bor elementinin bileşik oluşturmasını engelleyebilmek için bor ilavesi öncesinde alüminyum ve titanyum ilave edilmiş ve borun BN oluşumu ve oksijenden etkilenmesi engellenerek borun elementel seviyede 8620 çeliğinin içerisinde kalması hedeflenmiştir [10,11].

İndüksiyon ocağı kullanılarak yapılan döküm işlemi sonrasında üretilen numuneler %200 oranında haddelenmiştir. Sonrasında 20x30x5 mm boyutlarında hazırlanmış ve mikroyapı incelemesi için standart metalografik prosedür uygulanmıştır.

Numunelerin detaylı mikroyapı incelemeleri Nikon ters metalürjik mikroskop ve EDX donanımlı Carl Zeiss Ultra Plus Gemini Fesem SEM cihazı ile yapılmıştır. Üretilen numunelerin

detaylı faz incelemeleri 3 derece/dakika tarama hızında Rigaku marka XRD cihazı ile yapılmıştır.

Mikroyapı incelemelerinin ardından, makro sertlik ölçüm cihazı kullanılarak sertlik ölçümleri HBW2.5/62.5 parametrelerinde 15 sn yük altında Brinell sertlik yöntemi kullanılarak Q10 A+ QNESS marka makro sertlik cihazında 10 adet ölçümün ortalaması alınarak gerçekleştirilmiştir.

Korozif aşınma testleri UTS Tribometer T10 test cihazında %3,5 NaCl tuzlu su çözeltisinde gerçekleştirilmiştir. Aşınma yükü olarak 10N, 20N ve 40N olmak üzere üç farklı yük tek bir aşınma hızında (60 mm/s) uygulanmıştır. Aşınma mesafesi olarak 250 metre seçilmiştir. Aşınma testleri neticesinde yüzey pürüzlülük cihazı kullanılarak aşınan yüzeylerin derinlikleri ve genişliklerinin ölçümü yapılmış ve 250 metre sonucunda hacimsel olarak kayıp belirlenmiştir. Ayrıca uygulanan yükün aşınmaya etkisi incelenmiştir. Aşınma sonrası en düşük ve en yüksek yükler değerlendirilerek, SEM analizine tabi tutulmuştur. Numunelerin aşınma mekanizmaları yüke bağlı olarak gözlemlenmiş ve aşınmış yüzey SEM görüntüleri ile desteklenmiştir.

Farklı oranlarda bor içeren 8620 kalite çeliklerin mekanik ve tribolojik açıdan optimum bor oranının belirlenmesi amaçlanmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Mikroyapı İncelemesi

Şekil 1’de 3 ppm bor içeren 8B3 kodlu numuneye ait mikroyapı fotoğrafları incelendiğinde haddeleme işlemi sonrasında yapının tamamında yeniden kristalleşme gerçekleşmiş, uzamış ve deforme olmuş tane formu görülmektedir. Yapıya kimyasal bileşimindeki karbon oranına bağlı olarak daha çok ferrit yapının hakim olduğu görülmekle beraber ana yapının ferrit ve perlitlen oluştuğu gözlemlenmiştir. Haddeleme esnasında oluşan deformasyon ve uygulanan ısı etkisiyle yapıda mikroyapı üzerinde gösterilen bölgelerde asiküler ferrit yapıya rastlanılmıştır [12].

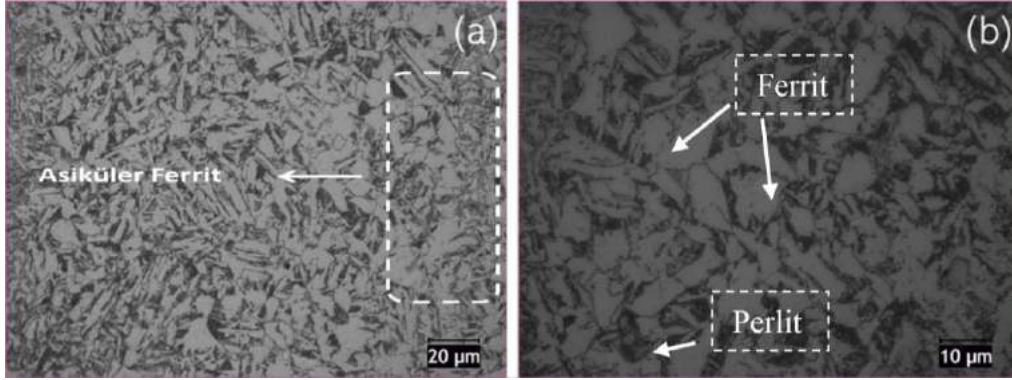
Şekil 2’de 8B48 kodlu numunelerden alınan mikroyapı fotoğrafları incelendiğinde ferrit ve perlit fazlarına ilaveten farklı faz oluşumlarının meydana geldiği görülmektedir.

Şekil 4 ve Şekil 5’de verilen SEM-EDX analizleri dikkate alınarak Şekil 3’de verilen mikroyapı görüntüsü incelendiğinde ise BN ve TiC benzeri yapıların oluştuğu tespit edilmiştir. Literatürde tane sınırlarında çökelen borun çeliklerin sertleşebilirliğini artırırken tane sınırlarındaki bor miktarı artarsa çeşitli karbürlerin oluştuğu ve bu yapının ferrit fazının çekirdeklenmesini kolaylaştırdığı belirtilmiştir [2,13]. Literatürle paralel olarak bor oranı arttıkça ferrit miktarının arttığı elde edilen görüntülerde belirlenmiştir [7].

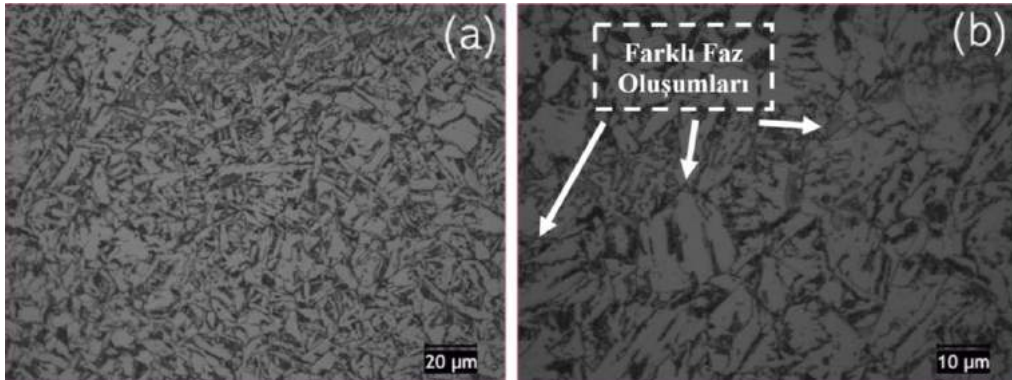
8B58 kodlu numuneye ait SEM görüntüsü Şekil 4’de, SEM-EDX analizi sonucu ise Tablo 2’de verilmiştir. SEM-EDX analizine göre bor elementine rastlanmamıştır. SEM ve EDX analizlerinden görüldüğü üzere ilave edilen Ti elementinin mikroyapı içerisinde C ve N ile birleşerek TiC ve TiN bileşiklerini oluşturmuştur. 1 nolu bölgede tane sınırlarında yer alan saç örgüsü şeklindeki yapının TiC bileşiği olduğu EDX analizi ile tespit edilirken yine tane sınırlarında yer alan köşegen yapıların TiN bileşikleri olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 1. Numunelerin spektral analiz sonuçları.

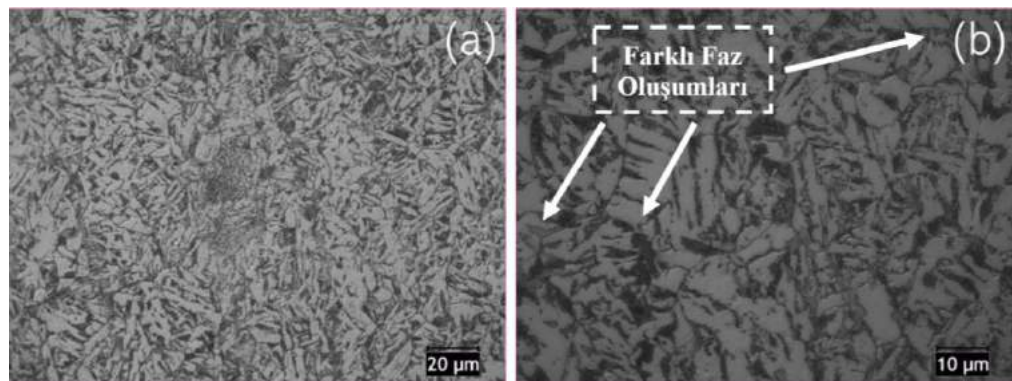
No.	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Cr (%)	Al (%)	Cu (%)	Ti (%)	N (%)	Fe (%)	Ni (%)	Mo (%)	B (ppm)
8B3	0,23	0,20	0,86	0,013	0,008	0,64	0,096	0,066	0,035	0,013	97,11	0,49	0,17	3
8B14	0,23	0,20	0,86	0,013	0,008	0,64	0,096	0,066	0,035	0,013	97,11	0,49	0,17	14
8B30	0,23	0,20	0,86	0,013	0,008	0,64	0,096	0,066	0,035	0,013	97,11	0,49	0,17	30
8B48	0,23	0,20	0,86	0,013	0,008	0,64	0,096	0,066	0,035	0,013	97,11	0,49	0,17	48
8B58	0,23	0,20	0,86	0,013	0,008	0,64	0,096	0,066	0,035	0,013	97,11	0,49	0,17	58



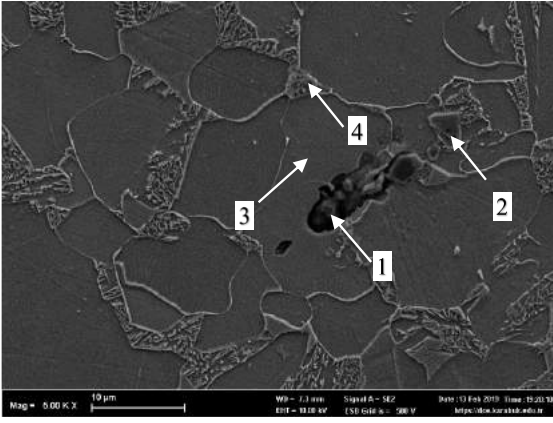
Şekil 1. 3 ppm bor içeren 8620 kalite çeliğe ait farklı büyütmelerde mikroyapı görüntüleri.



Şekil 2. 48 ppm bor içeren 8620 kalite çeliğe ait farklı büyütmelerde mikroyapı görüntüleri.



Şekil 3. 58 ppm bor içeren 8620 kalite çeliğe ait farklı büyütmelerde mikroyapı görüntüleri.



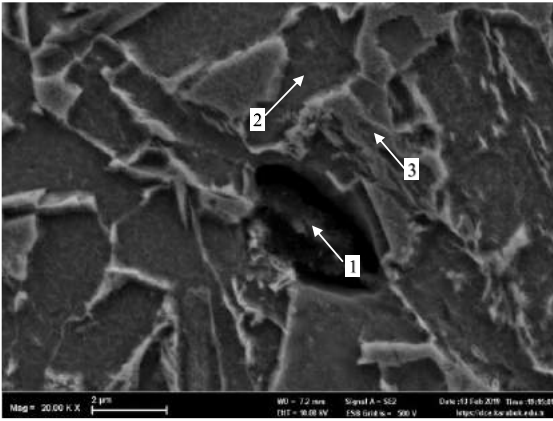
Şekil 4. 8B58 nolu numuneye ait SEM görüntüsü.

Tablo 2. 8B58 nolu numuneye ait EDX analizi.

Bölge	B	C	N	Ti	Fe
1	-	34,34	-	15,96	49,70
2	-	1,96	22,08	71,89	4,07
3	-	3,74	-	-	96,26
4	-	7,72	-	-	92,28

Bor oranının artmasıyla birlikte siyah küresel noktaların miktarında daha belirgin bir artış olduğu belirlenmiştir. Siyah renkli bu noktalarının bazılarının BN (Bor Nitrür) olduğu Şekil 5 ve Tablo 3 ile desteklenmiştir.

SEM-EDX analizine göre 1 numaralı noktada %22,98 oranında bor olduğu görülmüştür. SEM fotoğrafı üzerinden alınan 1 nolu EDX analizi yapıda TiN bileşiklerine ilaveten BN bileşiklerinin de oluştuğunu desteklemektedir.



Şekil 5. 8B58 nolu numuneye ait SEM görüntüsü.

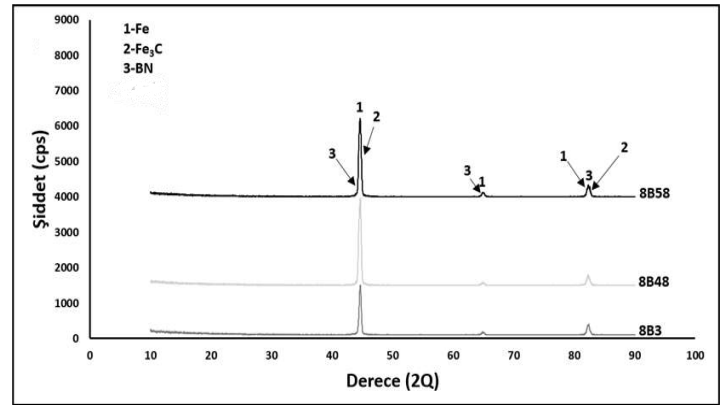
Tablo 3. 8B58 nolu numuneye ait EDX analizi.

Bölge	B	C	N	Ti	Fe
1	26,07	6,31	19,79	0,00	11,99
2	0,82	2,17	0,00	0,48	96,53
3	0,00	4,17	0,00	0,00	95,83

3.2. XRD Analizleri

3, 48 ve 58 ppm oranında bor içeren AISI 8620 kalite çeliklere ait XRD analizleri Şekil 6'da verilmektedir. XRD analizinde BN bileşiklerine rastlanılmış fakat TiN bileşikleri

tespit edilememiştir. Diğer taraftan artan bor ilavesi SEM analizlerinde de tespit edilen BN oluşumu XRD analizi ile de tespit edilmiştir.

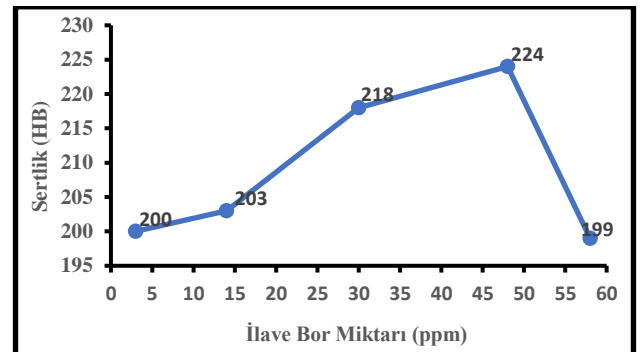


Şekil 6. XRD sonuçları.

3.3. Sertlik Testleri

8620 serisi çelik numunelerinin sertlik sonuçları göz önünde bulundurulduğunda, belirli miktardaki bor oranı sertliği olumlu yönde etkilemiştir. En fazla sertlik Şekil 7'de görüldüğü üzere 8B48 numaralı 48 ppm oranında bor katkısı neticesinde gözlemlenmiştir. 3 ppm bor içeren alaşıma kıyasla yaklaşık %12 civarında sertlikte artış sağlanmıştır. Bor ilaveli çeliklerde, östenit tane sınırlarında bulunan bor, tane sınır enerjisini düşürmekte ve ferrit fazının çekirdeklenmesini geciktirmektedir. Böylelikle sertlikte artış görülmektedir [13].

Diğer yandan belli bir oranın üzerinde bor bulunması, karbürü veya nitrürlü yapıların tane sınırlarında çökmesine neden olarak ferrit fazının çekirdeklenmesini de kolaylaştırmaktadır. Bundan dolayı bor miktarı açısından belirli bir eşik değeri vardır. Bu değer üzerinde sertlikte azalmalar görülebilmektedir [2,3].



Şekil 7. 8620 Kalite çeliklere bor ilavesinin sertliğe etkisi.

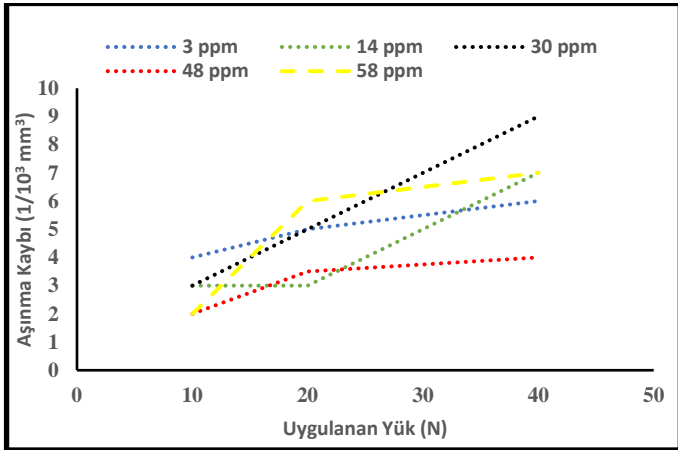
Yapılan literatür taramasında 17 ppm bor ilavesine kadar bor miktarı ile sertliklerin arttığı gözlemlenmiştir. 4140 çeliklerine 17 ppm değerinin üzerinde bor katılmasıyla mikroyapıda daha ince tane boyutu ve iğnemsî morfoloji gözlemlenmesine rağmen sertlikte ani düşüş meydana gelmiştir [8].

Genel olarak bor miktarı çelik alaşımlarında hem literatüre göre hem de yapmış olduğumuz deneysel çalışmalara göre sertlik artışını sağlamakta fakat belli bir oranın üzerinde tekrardan sertlikte azalmalara neden olmaktadır. 8620 kalite çelikler için bu oranın 48 ppm olduğu tespit edilmiştir.

3.4. Koroziyon Aşınma Test Sonuçları

Farklı oranlarda bor içeren numunelere %3,5 NaCl çözeltisi içerisinde yapılan koroziyon aşınma testlerinden elde edilen aşınma derinlikleri Mutitoyo profilometre cihazı ile elde edilmiş, hesaplamalar maksimum derinlik esas alınarak yapılmıştır. Elde edilen veriler kullanılarak aşınma kayıpları hacimsel olarak hesaplanmış ve bulgular Şekil 8'de verilmiştir.

İncelenen numunelerde 20 N yük dışındaki bütün yükler için en yüksek aşınma dayanımı 48 ppm bor içeren 8B48 no'lu numunede ölçülmüştür. Bu yükte (20N) de 14 ppm bor içeren numuneyle 48 ppm bor içeren numunede meydana gelen aşınma kayıpları birbirine oldukça yakın olarak kaydedilmiştir. Ölçülen bu değerler sertlik değerleriyle de örtüşmektedir. Cheng vd. çeliklerde korozyonu pasif bir demir oksit tabakasının oluşumu ve sonrasında oyuklaşmayla bu tabakanın tahrip edilmesi şeklinde açıklamaktadırlar [14]. Düşük yüklerde NaCl çözeltisi içerisinde çelikte meydana gelen oksit tabakası aşınma etkisiyle tahrip olmazken yüksek yüklerle çıkıldığında aşınma kayıpları da büyük oranlarda artmıştır. Fakat en düşük oranda bor içeren alaşımda bu artış lineer gerçekleşirken yüksek oranda bor içeren numunelerde özellikle 20 N kayma yükünden sonra aşınma kayıpları çok hızlı artmıştır. Bunun sebebi bor ilavesi ile oluşan yeni ikincil fazların ferrit matrisle koroziyon çözelti içerisinde galvanik ikili oluşturması ve bu fazların etrafını korozyona uğratarak serbest hale gelmesi sonucunda yüksek yüklerde bu partiküllerin yapıdan ayrılıp aşınma kayıplarını daha yüksek oranda arttırmaları olarak düşünülmektedir.

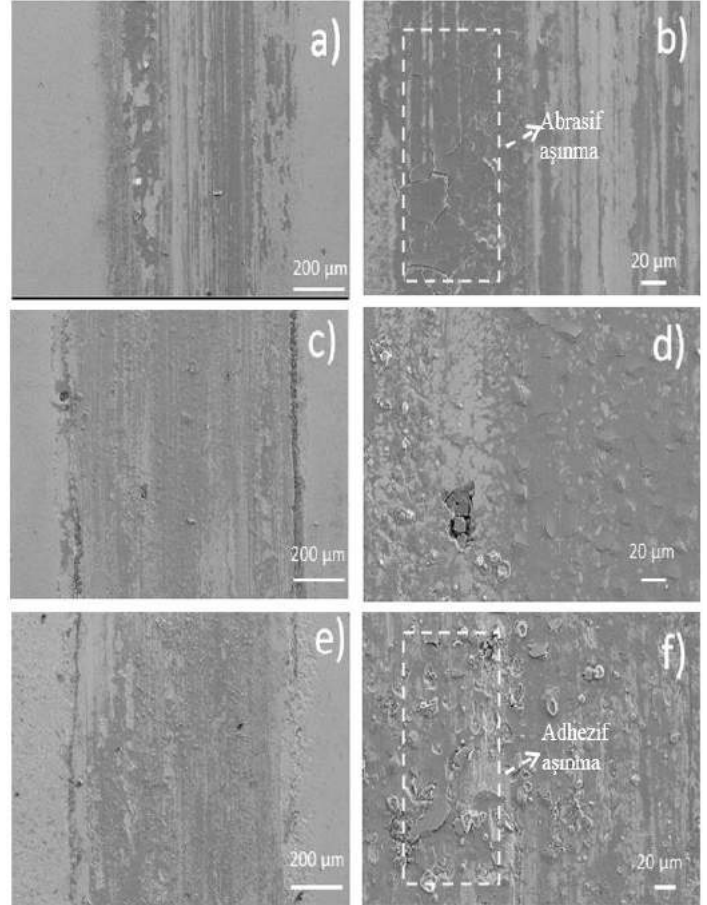


Şekil 8. 8620 kalite çelikler için uygulanan yüke bağlı olarak hacimce aşınma kayıpları.

Şekil 9'da 8B3 nolu numuneye ve Şekil 10'da ise 8B58 nolu numuneye ait koroziyon aşınmış yüzey SEM fotoğraflarını incelenmiştir. 8620 kalite çeliklerde eşik değerinin (48 ppm) üzerinde ilave edilen bor sertlik değerlerinde düşüşe sebep olduğu gibi aşınma dayanımlarını da negatif yönde etkilemektedir. 8B58 nolu 58 ppm bor ilavesi yapılmış numunede daha derin adhesiv aşınma izleri görülürken 3 ppm bor içeren 8B3 nolu numune daha düşük aşınma derinlikleri tespit edilmiştir.

Abrasif aşınma ana malzemeden parça kopması ve çiziklerle sonuçlanabilir buna ilave olarak plastik deformasyonda görülebilmektedir. Adhezif aşınmada ise karşı malzeme ile ana malzemenin birbirine sürtünmesi ve malzemenin bir alt tabakadan diğerine aktarılması olarak açıklanabilmektedir. Yüke bağlı olarak baktığımızda düşük yüklerde koroziyon ortamının etkisi daha

net olarak görülmekte koroziyon ortamının etkisiyle yüzeye çizikler ve oyuklanmalar şeklinde abrasif aşınma mekanizması hâkim olduğu tespit edilmiştir. Yüksek yüklerde ise gerek karşı malzemeden kopan gerekse malzemeden kopup tekrardan yükün etkisiyle yüzeye yapışmış bölgeler gözlemlenmiştir. Bu durum yüksek yüklerde koroziyon aşınmaya ilaveten daha çok adhezif aşınma karakteristiğinin görüldüğünü göstermektedir.

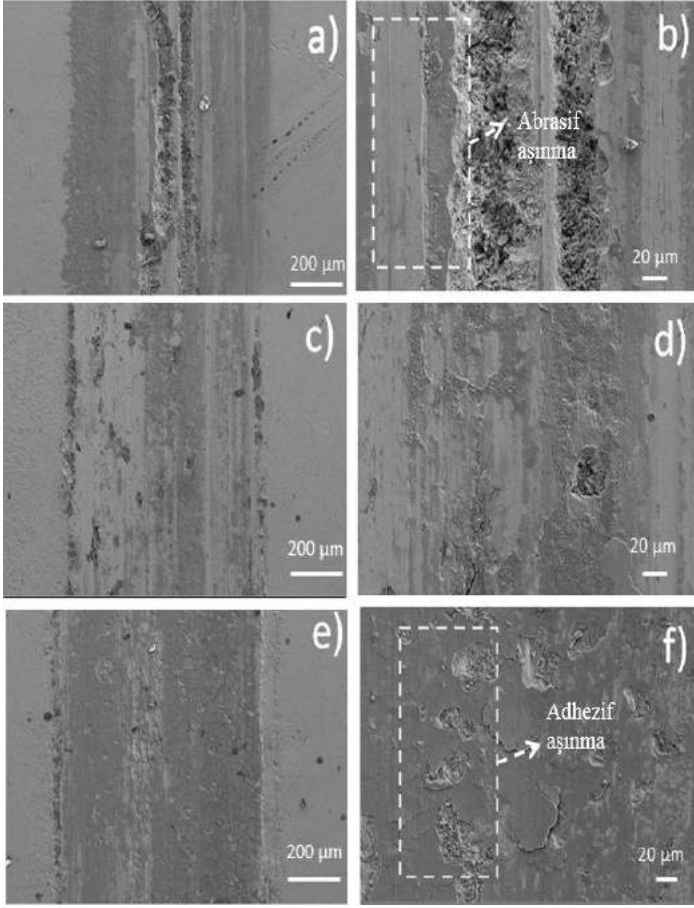


Şekil 9. 8B3 No'lu numuneye ait aşınma farklı büyütme ölçeklerinde SEM görüntüleri (a-b) 10N, (c-d) 20N, (e-f) 40N.

4. Sonuç ve Öneriler

Ticari 8620 kalite imalat çeliklerine farklı oranlarda bor ilavesi yapılarak vakumsuz indüksiyon ocağında alaşımlama işlemi gerçekleştirilmiş ve üretilen alaşımların mikroyapı incelemeleri, sertlik ve metal-metal koroziyon aşınma deneylerinden aşağıdaki genel sonuçlar elde edilmiştir.

1. Üretilen alaşımlarda bor ve titanyum ilavesi sonrasında optik mikroskop görüntülerinde farklı faz oluşumları tespit edilmiş. Bu fazların SEM'in EDX dedektörü ile analizinde BN, TiC ve TiN fazları olduğu tespit edilmiştir.
2. 8620 kalite alaşıma yapılan 48 ppm bor ilavesi ile sertlik değerlerinde %12 seviyelerinde bir artış gözlemlenmiştir.
3. Gerek düşük gerekse yüksek yüklerde en yüksek aşınma dayanımı 48 ppm bor içeren numune sağlanırken diğer bor ilaveli numuneler daha fazla aşınma kaybına uğramışlardır.
4. Aşınma sonrası SEM fotoğraflarına baktığımızda düşük yüklerde koroziyon ve abrasif aşınma mekanizması görülürken yüksek yüklerde koroziyon aşınma mekanizmasına ilaveten daha çok adhesiv aşınma mekanizması görülmüştür.



Şekil 10. 8B58 No'lu numuneye ait aşınma farklı büyütmelerde SEM görüntüleri (a-b) 10N, (c-d) 20N, (e-f) 40N

5. Teşekkür

Projenin pratik uygulama çalışmalarının gerçekleştirilebilmesi için vermiş oldukları katkılar adına MARGEM Laboratuvarı çalışanlarına teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Erden, M. (2016). Effect of C Content on Microstructure and Mechanical Properties of Nb-V Added Microalloyed Steel Produced by Powder Metallurgy Method . *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* , 5 (9) ,44-47.
- [2] Karlsson, L., Nordén, H., and Odellius, H. (1988). Overview no. 63 Non-equilibrium grain boundary segregation of boron in austenitic stainless steel I. Large scale segregation behaviour. *Acta Metallurgica* , 36 (1): 1–12.
- [3] Werner, D. H., "Boron and Boron Containing Steels", *Woodhead Publishing Ltd*, 2nd editio. Ed., (1995).
- [4] Çarboğa, C., Kurt, B., and Dal S. (2019). Investigation of Wear and Microstructure Properties of AISI 1040 Steel with Different Boron Content. UDCS'19 Fourth Internatinal Iron and Steel Symposium, 4-6 April, Karabuk, 482-484.
- [5] Güneş, İ., Çelik, A. G. (1995). Borlanmış sementasyon çeliğinin tribolojik özelliklerinin incelenmesi. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 6 (2): 333- 344.
- [6] Çelik, A. G. (2018). Characterization of Borided DIN X165 CrMoV12 Steel. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 5 (3): 904- 908.
- [7] Çarboğa, C. (2010). Düşük karbonlu çeliklere bor ilavesinin mikroyapı ve mekanik özellikler üzerine etkisi. Doktora Tezi, *e-ISSN: 2148-2683*

Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

[8] Aksoy, T. (2019). 4140 çeliğinin korozif aşınma özelliklerine etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.

[9] Karacif, K., Çarboğa, C., ve Candemir D. (2019). Düşük oranlarda bor içeren az karbonlu çeliklerin asidik ve tuzlu ortamlarda korozyon özelliklerinin incelenmesi. *Bor Dergisi* , 4 (1) ,39-45.

[10]Llewellyn, D. T. and Cook, W. T. (1974). Metallurgy of boron-treated low-alloy steels. *Metals Technology*, 1 (1): 517–529.

[11]Taylor, K. A. and Hansen, S. S. (1990). The boron hardenability effect in thermomechanically processed, direct-quenched 0.2 Pct C steels. *Metallurgical Transactions A*, 21 (6): 1697–1708.

[12]Aksoy, A. (2015). Çelik Malzemelerde Hasar Analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[13]Morrall, J. E. and Cameron, T. B. (2007). A model for ferrite nucleation applied to boron hardenability. *Metallurgical Transactions A*, 8 (11): 1817–1819.

[14]Cheng, Y. F., Wilmott, M., and Luo, J. L. (1999). Role of chloride ions in pitting of carbon steel studied by the statistical analysis of electrochemical noise. *Applied Surface Science*, 152 (3): 161–168.



A Comparison of Various Supervised Machine Learning Techniques for Prostate Cancer Prediction

Ebru Erdem¹, Ferhat Bozkurt^{2*}

^{1*} Atatürk University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Erzurum, Turkey (ORCID: 0000-0002-4042-7549), ebruerdem@atauni.edu.tr

² Atatürk University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Erzurum, Turkey (ORCID: 0000-0003-0088-5825), fbozkurt@atauni.edu.tr

(First received 30 September 2020 and in final form 31 January 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.802810)

ATIF/REFERENCE: Erdem, E. & Bozkurt, F. (2021). A Comparison of Various Supervised Machine Learning Techniques for Prostate Cancer Prediction. *European Journal of Science and Technology*, (21), 610-620.

Abstract

Prostate cancer is a kind of cancer that is seen worldwide and causes death of many people. Early diagnosis of cancer helps patients during the treatment phase. For this reason, cancer prediction is very crucial, according to the symptoms seen in the patient. One of the biggest problems in medicine is diagnosing diseases. The absence of certain definitive rules for the evaluation of symptoms of prostate cancer and the low rate of prediction of the diagnostic methods currently in effect made this study essential. It is thought that machine learning methods can be effective for the solution of the problems where there are no specific and definite rules and the factors affecting the event can be predicted. With this awareness, various solutions are developed by computer-aided systems. In this paper, we compare and discuss the performance of different supervised machine learning algorithms (i.e., k-nearest neighbor, support vector machines, random forest, logistic regression, linear regression, Naive Bayes, linear discrimination analysis, linear classification, multi-layer perceptron and deep neural network) for prostate cancer prediction. In this study, an open-access online prostate cancer data which consists of observations of 100 patients is used. The main intention is to evaluate the correctness in classifying data with respect to effectiveness and efficiency of each algorithm in terms of precision, recall, AUC, F1-Score, accuracy. The accuracy of the methods may vary according to the training and test data. In order to obtain more stable results, each algorithm was run more than ten times and their five best performances were recorded. The results show that multi-layer perceptron (MLP) can result in high prediction accuracy that is better compared to other approaches. Experimental results show that MLP gives the highest accuracy (97%) with the lowest error rate (0.03). The MLP classifier outperformed the other algorithms used in this study and is one of the best studies ever reported in the literature in terms of accuracy, AUC and F1 score performance criteria. As a result, we can say that if the computer is trained with machine learning methods based on patient information, it can be clinically useful with high accuracy in predicting cancer. In this way, an unnecessary biopsy of the patient can be prevented.

Keywords: Prostate cancer, supervised machine learning, artificial neural network, deep learning, classification, performance, effectiveness, efficiency

Prostat Kanseri Tahmini için Çeşitli Denetimli Makine Öğrenimi Tekniklerinin Karşılaştırılması

Öz

Prostat kanseri dünya genelinde yaygın olarak görülen ve ölüme yol açan kanser türlerinden biridir. Kanserin erken teşhisi hastaların tedavi aşamasında yardımcı olmaktadır. Bu sebeple, hastada görülen belirtilere göre kanser tahmini büyük önem taşımaktadır. Sağlık alanında en büyük sorunlardan biri hastalığı teşhis etmektir. Prostat kanseri semptomlarının değerlendirilmesi için belirli kesin

* Corresponding Author: fbozkurt@atauni.edu.tr

kuralların olmaması ve şu anda yürürlükte olan tanı yöntemlerinin düşük öngörü oranı bu çalışmayı gerekli kılmıştır. Belirli ve kesin kuralların bulunmadığı ve olayı etkileyen faktörlerin öngörülebildiği sorunların çözümünde makine öğrenimi yöntemlerinin etkili olabileceği düşünülmektedir. Bu farkındalığın bilinci ile bilgisayar destekli sistemler tarafından çeşitli çözümler geliştirilmektedir. Bu çalışmada, prostat kanserinin tahmini için çeşitli denetimli makine öğrenme algoritmalarının (destek vektör makineleri, rastgele orman, k-en yakın komşu, lojistik regresyon, doğrusal regresyon, Naive Bayes, doğrusal ayırmacılık analizi, doğrusal sınıflandırma, çok katmanlı algılayıcılar ve derin yapay sinir ağları gibi) performansını karşılaştırır ve tartışırız. Bu çalışmada 100 hastanın gözlemlerinden oluşan açık erişimli çevrimiçi prostat kanseri verisi kullanılmıştır. Temel amaç her algoritmanın verilerin sınıflandırılmasındaki doğruluğunu, etkinlik ve verimlilik açısından hassasiyet, recall, AUC, F1-Score ve doğruluğa göre değerlendirmektir. Yöntemlerin doğruluğu, eğitim ve test verilerine göre değişebilir. Daha istikrarlı sonuçlar elde etmek için, her bir algoritmayı 10'dan fazla çalıştırdık ve en iyi 5 performansını kaydettik. Sonuçlar çok katmanlı algılayıcının (MLP), diğer yaklaşımlara göre daha iyi olan yüksek tahmin doğruluğu ile sonuçlanabildiğini göstermektedir. Deneysel sonuçlar, MLP'nin en yüksek doğruluğu (%97) ve en düşük hata oranını (0.03) verdiğini göstermektedir. MLP sınıflandırıcısı, bu çalışmada kullanılan diğer algoritmalarından daha iyi performans gösterdi ve doğruluk, AUC ve F1 puanı performans kriterleri açısından literatürde bildirilen en iyi çalışmalardan biridir. Sonuç olarak, bilgisayarın hasta bilgilerine dayanarak makine öğrenmesi yöntemleri ile eğitilmesi durumunda, kanseri tahmin etmede yüksek bir doğrulukla klinik olarak yararlı olabileceğini söyleyebiliriz. Böylece hastaya gereksiz bir biyopsi önlenir.

Anahtar Kelimeler: Prostat kanseri, denetimli makine öğrenmesi, yapay sinir ağları, derin öğrenme, sınıflandırma, performans, etkinlik, verimlilik.

1. Introduction

Cancer cells are abnormal cells that grow faster than normal and refuse to die (Chang et al., 2014). Cancer could be seen in many organs such as lung, skin, stomach, large intestine, breast, and prostate. Cancer formation is divided into two as benign and malignant. In benign growth, while only tissue is growing, in malignant growth if the organ is not exposed to an early diagnosis-treatment process, it does nonfunctional the organ that is contaminated with. And if this situation sustains, it can result in the death of the person. Cancer gives different symptoms in each organ. When these symptoms are considered, with various treatment processes it is possible to get rid of the organ infected, to prevent its spread and to rescue the person's life (Grönberg, 2003). For this reason, early diagnosis of cancer disease has made it one of the important problems in medicine (Cuzick et al., 2014). In prostate cancer, some patients are more prone to the potential to turn into a fatal phenotype. In some patients, there is a healing situation with the treatment of the main tumor. Accurate follow-up of the patient is the most important factor during the disease progression. The patients at high risk should be identified in order to develop more effective treatment paradigms. The classification should be done for diagnosis (Chang et al., 2014).

Although there are various diagnostic methods of prostate cancer, the success of these methods is not acceptable. In addition, there is no specific formula for interpreting the data obtained from the hospital. In the diagnosis of prostate cancer, cancer is suspected by examining the PSA value which is a blood marker and the FPSA / PSA ratio (Stephan et al., 2002). In the findings of TRUS (Transrectal Ultrasonography), PRI (Finger Rectal Examination), suspicion increases with the presence of a nodule and the individual can be diagnosed by performing a biopsy several times (Taşkıran, 2008). In addition, prostate cancer risk can be calculated with methods such as Online Calculator which is developed as a result of examining many patients' information (Ankerst et al., 2014). However, the real diagnosis can only be made as a result of biopsy.

In this study, prostate cancer was studied which is one of the most cancer-related deaths of men and whose symptoms have similar characteristics with benign growth. One of the biggest problems in medicine is to diagnose diseases. The absence of certain definitive rules for the evaluation of symptoms of

prostate cancer and the low rate of prediction of the diagnostic methods currently in effect made this study essential. It is thought that machine learning methods can be effective for the solution of the problems where there are no specific and definite rules and the factors affecting the event can be predicted. The aim of this study is to use and compare various supervised machine learning algorithms like Support Vector Machines (SVM), Random Forest (RF), k-Nearest Neighbor (kNN), Logistic Regression (LR), Linear Regression (LR), Naive Bayes (NB), Linear Discrimination Analysis (LDA), Linear Classification (LF), Multi-Layer Perceptron (MLP) and Deep Neural Network (DNN) to predict prostate cancer. We think that the success of a system in which the computer can decide based on patient information may be higher in the prediction of cancer. In this system, the program will learn the relationship between parameters and be able to diagnose prostate cancer. Thus, an unnecessary biopsy can be prevented to patient with the success of this study.

The rest of the paper organized as follows. In Section 2, we introduced the related works in literature. In Section 3, material and method are introduced. In section 3, experimental results and findings are discussed. Finally, Section 4 concludes the paper and presents some future work opportunities.

2. Related Works

Classification is one of the most crucial and essential task in machine learning and data mining (Zaki & Meira, 2019). Many studies have been performed to implement data mining and machine learning to different medical data sets to classify prostate cancer (Goldenberg et al., 2019; Ray, 2020). Srivenkatesh (2020) made a prediction of prostate cancer on the Kaggle data set using machine learning techniques. The accuracy results that obtained from kNN, SVM, LR, NB and RF algorithms were between 70% and 90%. The highest accuracy (90%) was taken from the LR and RF algorithms (Srivenkatesh, 2020). Laabidi and Aissaoui (2020) compared popular machine learning algorithms to predict results on the same Kaggle dataset for prostate cancer as Srivenkatesh was done. The highest result is obtained with the Recurrent Neural Network (RNN) method with an accuracy of 81.3% when compared to other methods (Laabidi & Aissaoui, 2020). Zhang et al. (2006) achieved 92% accuracy by using the SVM classifier. Depending on the correlation between variables, it was observed that performance

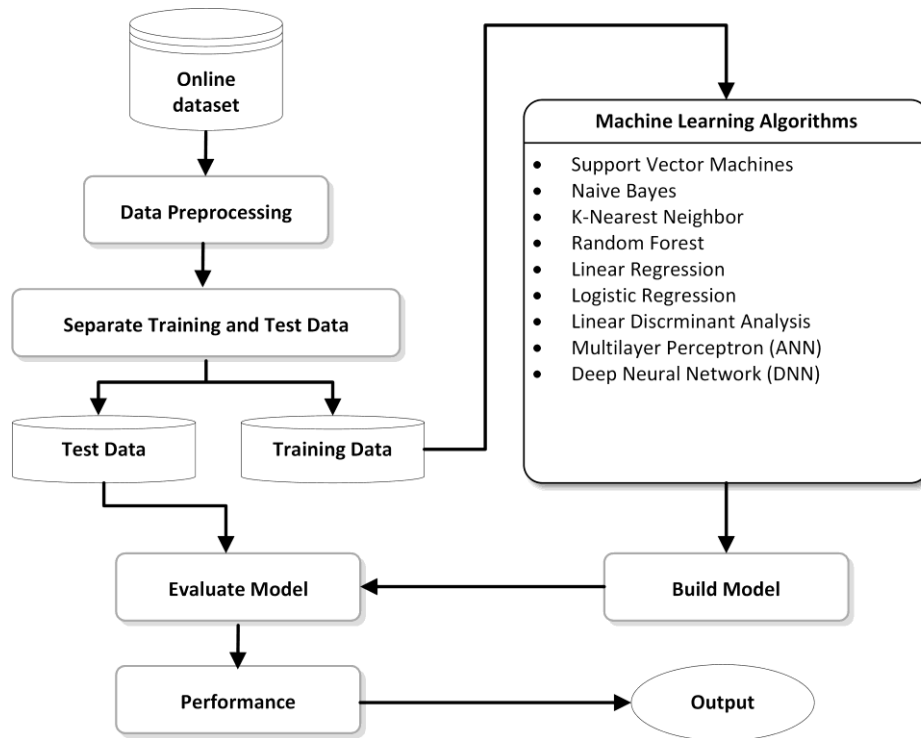


Figure 1. The workflow of the performance analysis of various supervised machine learning algorithms

could be improved by developing variable selection methods (Zhang et al., 2006). Shakeel and Manogaran (2020) used the DBCR dataset which includes biomedical details such as patient age, cancer volume, Gleason score, prostate weight, and antigen. Preprocessing was performed by applying standardization procedures on the data. When the accuracy rates of the study were analyzed, it was seen that radial trained neural networks-RTELNN (99.3%), SVM(95.90%), Neural Networks (97.12%), and MLP (98.15%) are obtained.

Recently, the success of deep learning has been proved in the prediction of prostate cancer. Diagnosis by experts was made from H&E stained samples with the help of light microscopy (Arvidsson et al., 2018). In the study conducted by Arvidsson et al., (2018) several different approaches based on the CNN were presented to three different datasets and the results were compared. Data augmentation operations were carried out using digital spot separation and color diversification methods. In the results obtained, autoencoder was seen as the method of providing the best generalization. Benign and malignant tissue was detected with a 95% accuracy rate, and 81% accuracy was detected in the Gleason rating (Arvidsson et al., 2018). Yuan et al. (2019) performed the classification of prostate cancer on MRI images using a deep learning-based multi-parametric transfer learning model. Their model obtained high accuracy with %86.92 on classification of prostate cancer. According to their comparison results, their methods show that they perform better in prostate cancer classification with higher accuracy than both existing deep learning models and hand-crafted feature-based methods (Yuan et al., 2019). Abraham and Nair (2018) used a deep network of stacked sparse automatic encoders (SSAE). They extracted high-level features from handcrafted tissue features and classified the MRI images using a softmax classifier (SMC). They achieved 47.3% accuracy by using this model (Abraham & Nair, 2018). The classification of prostate cancer was performed using multi-parametric MR images by Li et al. (2018). 10-fold cross-validation was used for the model. As a result, SVM classification using mpMRI-derived image

properties has provided accurate and automatic differentiation of low and high grade prostate cancer in central gland (Li et al., 2018). The classification of Epstein gleason score can significantly reduce healing in prostate cancer patients. In prostate cancer, biopsy accuracy for each histological classification can be found using the kappa coefficient and by evaluating specificity, sensitivity, negative, and positive predictive value (De Nunzio et al., 2018). Song et al. (2018) developed a computer-aided diagnosis of prostate cancer by using a deep convolutional neural network for MRI images. The dataset was obtained from the PROSTATEx database which contains 195 patients' data. Normally, a radiologist manually labels the areas related to PCas and NCs while viewing the prostate. Song et al. (2018) designed the DCNN model which is inspired by VGG-Net to distinguish between PCas and NCs based on the mp-MRI data combination. The superior performance was observed between PCa and NC and 94.4% AUC was obtained in the test data via this model. Their model obtained superior performance between PCa and NC for test data with 94.4% AUC (Song et al., 2018). The Gleason score for prostate cancer patients is one of the most important prognostic factors that potentially determine treatment. A deep learning algorithm is developed by Nagpal et al. (2019) to perform quantitation and Gleason scoring in prostate cancer diagnosis. When it is compared to a reference standard provided by pathologists of genitourinary, the 0.61 average accuracy was obtained thanks to 29 general pathologists in the validation set. DLS achieved a significantly higher diagnostic with accuracy of 0.70 (Nagpal et al., 2019). Reda et al. (2018) proposed a fully automated convolutional neural network-based CAD model for early detection of prostate cancer. The input of the proposed system is 3D-DWI datasets that are collected from 45 patients (25 malignant, 20 benign) at seven distinct b-values. According to the accuracy rates obtained from distinct b-values, it shows the high performance with 97.8% accuracy through CNN based classifier (Reda et al., 2018).

Table 1. Statistical analysis of the dataset

	radius	texture	perimeter	area	smoothness	compactness	symmetry	fractal_dimension
count	100	100	100	100	100	100	100	100
mean	16.85	18.23	96.78	702.88	0.102730	0.126700	0.193170	0.064690
std	4.87	5.19	23.67	319.71	0.014642	0.061144	0.030785	0.008151
min	9	11	52	202	0.07	0.038	0.135	0.053
max	25	27	172	1878	0.143	0.345	0.304	0.097

3. Material and Method

The design flow diagram of this study, which was carried out for the prediction of prostate cancer through various supervised machine learning methods, is given in Figure 1. Each step in this diagram is detailed in the following subsections.

3.1. Dataset

In order to analyze the performance of the methods evaluated in this study, a prostate cancer dataset was used as shown in first step of the design flow. Prostate cancer dataset is an open-access data source that can be obtained through the Kaggle platform (Sajid, 2018). The dataset consists of observations from 100 patients. The dataset consists of eight independent variables (radius, texture, area, perimeter, compactness, smoothness, fractal dimension, symmetry) and one dependent variable (diagnosis result). The variables used as predictors are as follows: 1-Radius, 2-Perimeter, 3-Texture, 4-Smoothness, 5- Area, 6- Compactness, 7-Symmetry, 8-Fractal dimension and 9-Diagnosis result. The output response takes two values: "B" for benign tumors and "M" for malignant tumors. A statistical analysis containing detailed information about the data is given in Table 1.

3.2. Preprocessing

As shown in Table 1, some high-valued features and lower valued ones are present together in the data set. In this context, the data needs some transformations because the lower-valued features will have no effect compared to the high-valued ones. The data (as shown in Figure 2) which is highly variable in terms of size will increase the variance and will not have an equal effect in distance calculations, since it will outweigh the low-value features in weight calculations. In order to normalize the data, it is necessary to convert the values of the numeric columns in the data set to a common scale without disturbing the differences in the range of values in the preprocessing stage (Gültepe, 2019). Therefore, in normal cases, a scaling process is performed to reduce the distances between different dataset values. Similarly, non-numeric properties should not be processed in order to perform data transformations. In order to do data mining, non-numerical data must be converted to numerical data. The diagnosis_result column, which is categorical and represents the dependent variable in the dataset, has been converted to binary. These values need to be scaled to the same standard in order to guarantee that all values equally contribute to the success of the algorithms used in this study. To ensure standardization, the data in the dataset was scaled by feature standardization. For this purpose, the StandardScaler method of sklearn.preprocessing library was used in Python. In this process, the raw data is converted into a standardized value score with 1 standard deviation and 0 arithmetic mean.

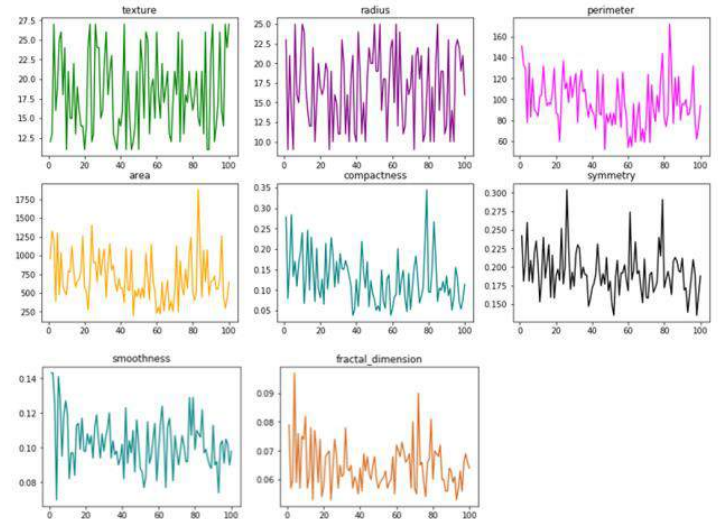


Figure 2. The clinical features and general distribution of data

3.3. Machine Learning Techniques

Within the scope of this study, nine popular supervised machine learning techniques were evaluated to compare their performances on prostate cancer dataset. Thus, we implemented Naive Bayes (NB), Logistic Regression, K-Nearest Neighbor (K-NN), Support Vector Machines (SVM), Linear Regression, Random Forest (RF), Linear Discrimination Analysis (LDA), Multi-Layer Perceptron (MLP), and Deep Neural Network (DNN) techniques by comparing their performance with accuracy, ROC-AUC and F-measure as metric. These techniques are evaluated to analyze the effectiveness of different machine learning approaches on the same dataset. These algorithms are preferred because they are easy to implement and can produce good results in terms of performance.

3.3.1. Support Vector Machines

It is a popular classifier with a quadratic programming technique that can bring a high level of solution to model complexity. In SVM, data is first transformed into the feature space using a suitable kernel function. In that space, the classification is made through the hyper plane. Statistical learning theory constitutes the infrastructure of SVMs. SVM also can be evaluated in the feed-forward network category (Chang et al., 2000; Erickson et al., 2017).

3.3.2. Naive Bayes

Naive Bayesian algorithm is a basic statistical classifier. For given dataset, this classifier calculates a probability set by counting combinations of values and frequency (Aydın, 2018). This algorithm supposes that all variables are independent. And it assumes no dependency between attributes. This hypothesis of conditional independence is seldomly right in real-world

applications, so it qualifies as Naive, however the algorithm prone to learn quickly in various controlled classification problems (Saritas & Yasar, 2019). It can be said that NB is particularly better than other approaches in different cases for especially medical datasets in the literature (Al-Aidaros et al., 2012; Laabidi & Aissaoui, 2020).

3.3.3. K-Nearest Neighbor

The grouping method proposed by Cover and Hart, in which the group containing the sample data point and the closest neighbor to this data point are determined according to the value of k , is called the K-NN algorithm (Cover & Hart, 1967). K-NN is a supervised learning algorithm that solves the grouping problem. It is one of the most frequently used classification algorithms in the literature. Classification of data in K-NN algorithm is performed using data whose class is known. Since it is an example-based algorithm, the learning process is carried out based on the data found in the training set (Yağanoğlu et al., 2014). In spite of its simplicity, K-NN yields competitive results and even outperforms other complex learning algorithms in some cases. This method is a simpler but more effective machine learning method than others, especially for a smaller number of classes (Karakoyun & Hacibeyoğlu, 2014). The most important advantage of this method is that successful studies can be made in the classification process with multiple categorized data points. K-NN could be preferred in classification as well as in the solution of regression problems. It is used when independent variables are quantitative and the classification process is applied depending on the distances between observations. Although it has a quite simple structure, it has a high computational cost (Taşcı & Onan, 2016). In this study, the neighborhood value (k) that is the best appropriate to the relevant dataset is determined first. The k value is chosen to be between 3 and 10 for most data sets (Çebi et al., 2019). For this purpose, training data is utilized and the best neighborhood value for the related dataset is determined as 5. Moreover, distance calculation in the algorithm is performed with Euclidean distance.

3.3.4. Random Forest

Random Forest is a supervised machine learning algorithm that could be preferred in classification as well as in the solution of regression problems. RF classifier is a bagging based ensemble learning method (Alqaraleh, 2020). This algorithm was proposed by Breiman (2001) as a combination of "Bagging" and "Random Subspace" methods (Breiman, 2001). RF classifier is frequently preferred in the literature for problems as high-dimensional and complex data, mixed categorical and numerical variables, nonlinear relationships, non-Gaussian statistical distributions, etc. RF branches all nodes using the best of randomly selected variables in each node instead of branching each node using the best branch of all variables. The algorithm creates a decision forest by using decision trees. It creates a random tree community / forest, then more than one decision tree is trained to make the most accurate classification during the operation (Pervan & Keleş, 2019). Most of the time, it can give superior results even without the use of hyperparameters. Since it gives very fast and good results even in complex and noisy data sets, it is frequently preferred to obtain useful information in medicine. The RF classifier performance has shown that this classifier can be used for some problems in medicine and could be an appropriate technique to obtain useful information (Alickovic & Subasi, 2016).

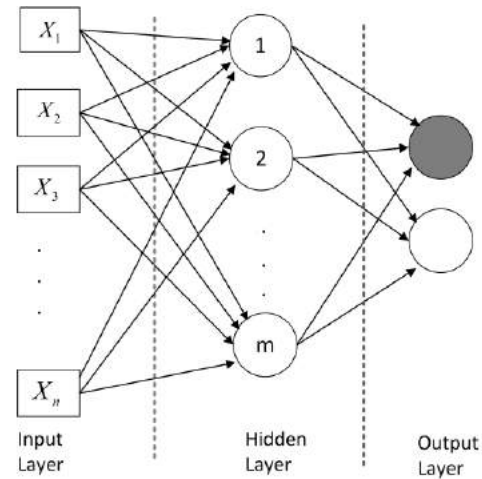


Figure 3. A typical MLP model (Bateni et al., 2007)

3.3.5. Logistic/Linear Regression Analysis

In order to find a cause-effect relationship between variables, Regression analysis is used as an analysis method. Regression analysis is the determination of the functional form of the relationship between the independent and dependent variables in order to perform prediction (Çokluk, 2010). The intended use of Logistic Regression Analysis is the same as other model construction techniques used in statistics. It is to build a biologically reasonable model that can state the relationship between independent and dependent variables in the best fit by using the least variable (Yavuz & Cilengiroğlu, 2020). Logistic regression is commonly used in medical applications to facilitate the interpretation of model parameters like variations in log size (Kurt et al., 2008). It is appropriate for variable selection methods commonly found in commercial applications and to interpret results as probabilities. Linear regression is an approximation in order to model the correlation between a numeric dependent factor and one or more independent factors (Karadağ, 2020). Linear regression analysis is to build a model that estimates the desired variable, based on the variable(s) that can be detected earlier or easier than the desired variable (İyi & Erol, 2008). The main feature that distinguishes logistic regression analysis from linear regression analysis is that the dependent variable has two or more classes

3.3.6. Linear Discriminant Analysis

This algorithm developed by R. A. Fischer in 1936 and is preferred especially for dimension reduction (Mika et al., 1999). In this way; it reduces underfitting and overfitting problems by making the calculation easier. In order to find the combination of properties that are best separated between classes, linear separation analysis maximizes their ratio to class distribution between classes, rather than maximizing total clutter. The simple idea is that: the same classes should be tightly wrapped together, distinct classes ought to be as far apart as possible in the lower dimension representations. It can be used for data preprocessing in cases where feature extraction is difficult before classification. LDA examines the distribution of classes to classify the data ideally and finds the difference between their mean values. It creates feature subspaces through them. LDA reduces the number of dimensions to prevent learning and memorization. Therefore, it can provide a high advantage in feature extraction as well as the application as a classification algorithm (Huang et al., 2009; Çebi et al., 2019).

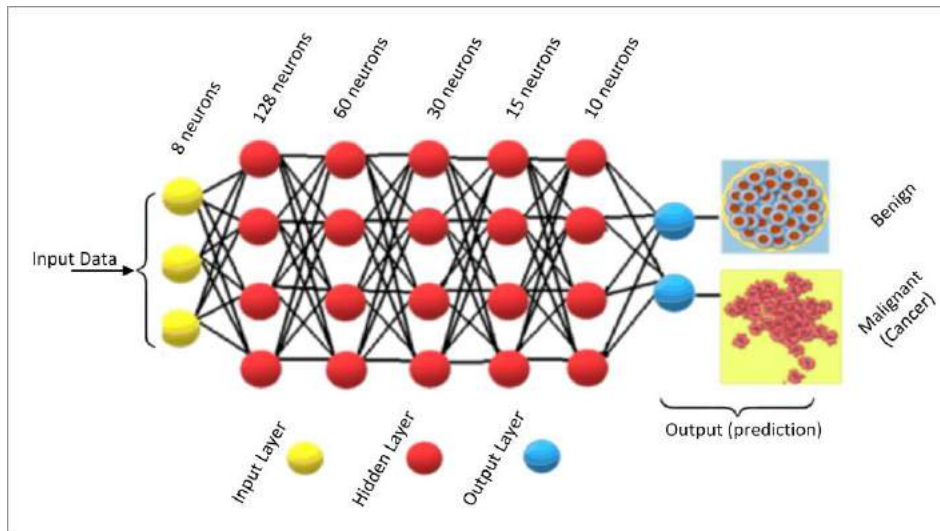


Figure 4. DNN architecture of the implemented model in this study

3.3.7. Multi Layer Perceptron

In recent years, interest in neural networks application for problems that cannot be solved with classical techniques has increased and it has been used successfully in many medical applications. MLP is widely used in classification and regression applications in many fields such as pattern, speech recognition, and classification problems (Ramchoun et al., 2016). A multi layer perceptron (MLP) is commonly used as supervised learning method or classifier. And, it is a feed-forward artificial neural network. It works better for the data which are not linearly separable (Özhan, 2020). In particular, it has a great influence on the convergence of these networks, in terms of the choice of the structure for the type of activation function used for each neuron. MLP generally has superior performance in classification, prediction, recognition, and interpretation (Mohammadi et al., 2017). This model which inputs and possible outputs are shown together during the training phase, is the most frequently used model in neural network. In the MLP method, there is an input layer, an output layer, and one or more hidden layers between the input and output as shown in Figure 3. The processing unit in the layers is interconnected. In MLP, the information that is resolved by the input layer is taken into the system, the information that is processed by the output layer is exported. A backpropagation algorithm is used for training. In this algorithm, the errors are tried to be reduced from the backward output to the input. Thus, it is aimed to reduce the error between the predicted result from the network and actual result. As shown in Figure 3, a typical MLP model is built with n inputs, a hidden layer with m nodes, and two output nodes (Bateni et al., 2007; Bozkurt et al., 2015; Timuş & Kıyak, 2015). MLP was utilized by using the MLPClassifier method of Python's `sklearn.neural_network.MLPClassifier` library. This model contains 100 hidden layers as default. For this model, we used the default parameters of MLPClassifier as 100 hidden-layer neural networks with ReLU activation function. In addition, Enăchescu (2004) proposed a regression model based on MLP network. This model carried out MLP with no activation function in output layer for backpropagation to train. Hence, a loss function that bases on square error is used and output consists of a set of continuous values. In comparison with other regression models, it was claimed that the MLP achieved a prediction error of about 10 times lower than other

models (Enăchescu, 2004). Thus, we also used MLP-Regression model to obtain high accuracy and low prediction error in this study.

3.3.8. Deep Neural Network

Deep Learning algorithms can be considered as the more complex form of artificial neural networks (ANN). A deep feed-forward neural network is an artificial neural network containing many hidden layers between input and output layers. Deep learning is an artificial neural network architecture with multi-layer perceptrons (Liu et al., 2017). ANN algorithms have been developed based on human learning processes. In ANN systems, structures defined as neurons are modeled to be interconnected just as the neurons in the biological nervous system interact with each other. Deep learning is generally based on learning from the representation of data. In this way; it was thought that it would have the capacity to learn, memorize and reveal the relationship between data. Neural networks can easily learn the features and the relationships between them that other algorithms cannot easily discover. Artificial neural networks learn a complex model using layers of neurons that mathematically transform data (Pervan & Keleş, 2019).

In machine learning, deep learning algorithms have aspects that differ from existing algorithms. The algorithms need a huge amount of data and hardware with very high computing power that can handle this data. Deep learning algorithms have become very popular due to the great advances in graphics card-based computing power. It is also used by large technology companies (Google, Facebook, Microsoft, Nvidia, etc.) with high data and computing power and integrated into their products. At the same time, these technology companies are supporting rapid progress in this area by opening their own deep learning software libraries to developer communities (Liu et al., 2017; Klang, 2018).

In this paper, a deep neural network (DNN) was created with the open-source library Keras (Chollet, 2015) and classification was performed on the dataset. In this proposed method, seven-layer neural network is constructed with the Keras library. As shown in Figure 4, DNN consists of a total of 7 layers which are one input layer (yellow neurons on this layer), five hidden layers (red neurons on these layers), and one output layer (blue neurons on this layer). As shown in Figure 4, there

Table 2. Performance comparison of the observed machine learning algorithms on prostate cancer dataset

Name of the Algorithm	Precision (%)	Recall (%)	AUC (%)	Accuracy (%)	F1-Score (%)
K-NN	88	83	83.30	83	86
SVM	94	89	90.3	90	91
Logistic Regression	73	92	84.7	83	81
NB	83	94	86.2	87	88
RF	95	91	88.5	90	93
Linear Regression	89	84	87.6	83	86
LDA	100	81	90.5	87	89
MLP	95	100	95.8	97	97
MLP-Regressor	90	90	90.3	90	90
DNN	89	94	88.9	90	92

Table 3. Error measurements of the observed machine learning algorithms on prostate cancer dataset

Model	K-NN	SVM	Log.Reg.	NB	RF	Lin.Reg.	LDA	MLP	MLP.Reg.	DNN
MAE	25.57	17.03	34.03	8.60	17.03	0.20	34.0	0.03	17.03	0.10
MSE	0.17	0.10	0.17	0.13	0.10	0.27	0.13	0.03	0.10	0.10
RMSE	0.44	0.32	0.41	0.37	0.32	0.52	0.37	0.18	0.32	0.32

are 8 neurons (nodes) in the input layer, 128 neurons in the first hidden layer, 60 neurons in the second layer, 30 neurons in the third layer, 15 neurons in the fourth layer, and 10 neurons in the fifth hidden layer. ReLU is used as the activation process for hidden layers. Sigmoid function is used for classification in the last layer. Binary crossentropy is preferred as the loss function because of the binary classification.

In artificial neural networks, the accurate updating of weights is crucial to the learning process. After calculating the error, the weights are updated according to the obtained error. The back-propagation algorithm is used to update the weights. RMS-Prop, Adam, and Adadelata are Gradient-based stochastic gradient descent methods. They frequently used to calculate the effect of each weight in the neural network on the calculated error by backpropagation algorithm (Yazan & Talu, 2017). In this study, we preferred Adam algorithm for optimization. Adam is a more efficient, adaptive optimization algorithm that can be used instead of the classical stochastic gradient descent method. It updates the learning rate dynamically for each parameter.

The reliability of the performance level of the classifier was provided by the 10-fold cross validation method. In this study, we use *scikit-learn StratifiedKfold* to perform 10-fold cross-validation. This resampling technique provides a robust estimate of the machine learning model's performance on raw data. In order to evaluate our model and print the results, we use the *cross_val_score()* function of *scikit-learn* by using the cross-validation schema.

4. Experimental Results and Discussion

In this section, we compare and discuss the performance of nine supervised machine learning algorithms as classifiers that are K-Nearest Neighbor (K-NN), Support Vector Machines (SVM), Random Forest (RF), Naive Bayes (NB), Linear Regression, Logistic Regression, Linear Discrimination Analysis (LDA), Multi-Layer Perceptron (MLP) and Deep Neural Network (DNN). The training and test sets were randomly selected as 70% training and 30% test data based on the original

data to investigate classifier's accuracy and performance. Different performance results can be obtained in different methods according to the distribution of training and test data. In other words, the accuracy of the methods may vary according to the training and test data. At this stage in order to obtain more stable results, we ran each algorithm more than ten times and recorded their five best performances. As a result of the classification, "B" benign cell and "M" malignant cell (cancer) were detected.

The design flow diagram of this study, which was carried out for the prediction of prostate cancer through various supervised machine learning methods, is given in Figure 1. Each step in this diagram is detailed in the following subsections

Performance evaluation of various machine learning algorithms are discussed by considering misclassified instances, correctly classified instances, Mean Absolute Error (MAE), Mean Squared Error (MSE), Root Mean Squared Error (RMSE). We performed the calculation of Precision, Recall, AUC, Accuracy, and F-Measure of various machine learning algorithms through confusion matrix for dataset with two (binary) classes. For some situations, additional measures are required to evaluate classifiers. Since only the accuracy in some situations could be misleading. AUC is considered a better measure than accuracy. Also, the F-measure is used as a combination of recall and precision in a single metric. Especially in uneven class distribution, it sometimes could be more useful than accuracy.

We observed the comparison of performances of the nine classifiers as shown in Table 2. We can see clearly see that MLP produces the best performance for this dataset according to scores of AUC (95.8%), Accuracy (97%) and F1-Score (97). K-NN, Logistic Regression and Linear Regression (Accuracy=83%) outcome lower results than others. We applied the regression model based on MLP on this dataset. MLP-Regressor model gives the 90.3% AUC and 90% Accuracy for prostate cancer dataset. In comparison with other regression models, MLP-Regressor model gives high accuracy and low prediction error than other models.

Table 4. Confusion matrix of the observed machine learning algorithms on prostate cancer dataset

Algorithm	Actual Classes	Predicted	
		Cancer= yes	Cancer= no
K-NN	Cancer= yes	83 (TP)	17 (FN)
	Cancer= no	17 (FP)	83 (TN)
SVM	Cancer= yes	92 (TP)	8 (FN)
	Cancer= no	11 (FP)	89 (TN)
Log.Reg.	Cancer= yes	92 (TP)	8 (FN)
	Cancer= no	22 (FP)	78 (TN)
NB	Cancer= yes	79 (TP)	21 (FN)
	Cancer= no	6 (FP)	94 (TN)
RF	Cancer= yes	86 (TP)	14 (FN)
	Cancer= no	9 (FP)	91 (TN)
Lin.Reg.	Cancer= yes	86 (TP)	14 (FN)
	Cancer= no	13 (FP)	87 (TN)
LDA	Cancer= yes	100 (TP)	0 (FN)
	Cancer= no	19 (FP)	81 (TN)
MLP	Cancer= yes	92 (TP)	8 (FN)
	Cancer= no	0 (FP)	100 (TN)
MLP.Reg.	Cancer= yes	92 (TP)	8 (FN)
	Cancer= no	12 (FP)	88 (TN)
DNN	Cancer= yes	83 (TP)	17 (FN)
	Cancer= no	6 (FP)	94 (TN)

Classifier performance was evaluated according to values of MAE, MSE and RMSE. The MAE, MSE and RMSE values were calculated in the test samples and the average of the five error results obtained was taken. The lowest average value was obtained with MLP (MAE=0.03, MSE=0.03 and RMSE=0.18) as shown in Table 3.

Confusion matrix is one of the simplest and most heuristic metrics used to obtain the accuracy of the model. Table 4 shows the test complexity matrix of the observed machine learning algorithms. TN, TP, FN and FP values are taken into consideration while calculating the performance criteria (Precision, Recall, AUC, Accuracy and F-Measure). For instance to evaluate Accuracy value from the formula $ACC = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} * 100$, $ACC = \frac{(92+100)}{(92+100+0+100)} * 100 = 96$, %96 is obtained for MLP method.

The another performance measure which we observed is that the Receiver Operating Characteristics (ROC) curve. This curve gives us the evaluation metric of the observed machine learning algorithms. A ROC curve describes the visual relationship between true and false positives. ROC curve is composed by plotting the number of false positive on the horizontal axis (1- specificity) and true positive values on vertical axis (sensitivity). An optimum point on the ROC curve should be (0, 1). This means that none of negative instances are misclassified as positive and all positive instances are classified as positive. A ROC curve covers all information in the confusion matrix. The closer the curve follows to the upper-left edge of the ROC space, the greater the accuracy of the test. In order to compare classifiers, the area under the ROC curve, in other words AUC (Area Under of Curve) value is calculated to reduce the performance of the ROC to a single value. Since AUC is part of the field in the unit square, its value is always between 0 and 1. Figure 5(a) shows the ROC cure of the DNN method. Figure 5(b) shows the ROC cure of the other methods. As shown in

Figure 5(b), MLP classifier has the greater accuracy and AUC value (0.96) than others.

Table 5. The results of studies and MLP method on same dataset

Article	Year	Method	Accuracy(%)
Laabidi & Aissaoui	2020	RNN	81.30
Srivenkatesh	2020	Random Forest Lojistic Regression	90
Proposed	2020	MLP	97

In order to demonstrate the performance of the proposed model, both accuracy and loss graphs are shown in Figure 6. The x-axis is the number of model training periods which refers to the number of training cycles across the complete dataset, and the Y-axes are the loss and accuracy respectively. When the accuracy graph is closely examined, the initial test (validation) accuracy is higher than the training accuracy for some periods. Both test and training accuracy curves follow an upward trend as the number of periods increase. The loss curve shows the decrease in error rate as shown in Figure 6. It shows that the training process and the learning of the network are in a good learning rate. As shown in Figure 6, while the loss value decreases at each epoch (i.e. 100 epoch), accuracy increases and learning occurs through the given training set.

To the best of our knowledge, the performance comparison among various supervised machine learning techniques is limited on same prostate cancer dataset. Table 5 shows the studies which are use the same dataset. The data set is already public available online since 2018. Laabidi and Aissaoui (2020) studied on popular machine learning algorithms to predict prostate cancer. The higher results were obtained with the Recurrent Neural Network (RNN) method with an accuracy of 81.3% when compared to other methods. Srivenkatesh (2020) also studied on predicting prostate cancer with different machine-learning algorithms. Srivenkatesh obtained the better

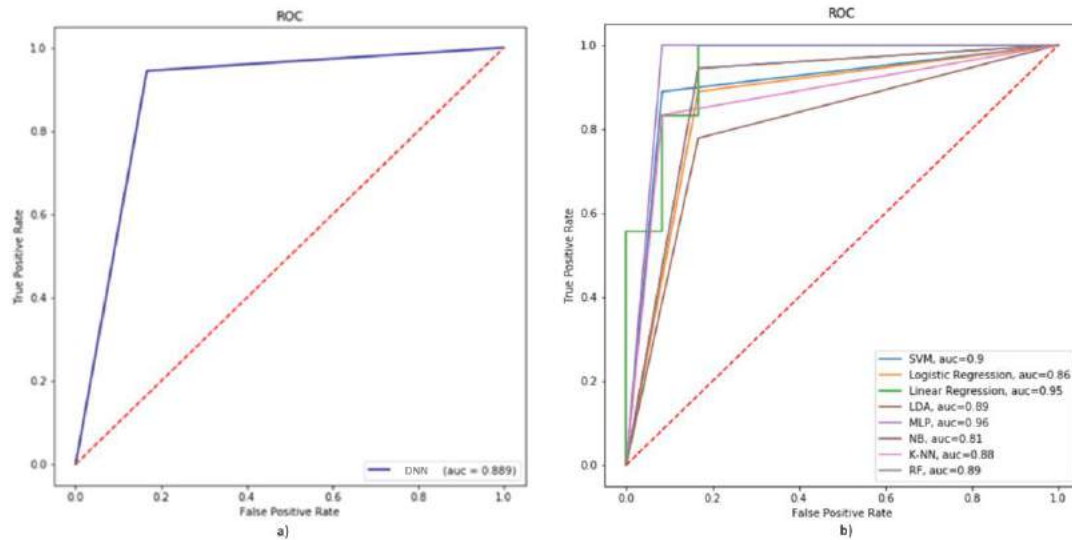


Figure 5. ROC curves of the observed machine learning algorithms: (a) ROC curve of a DNN model, (b) ROC curve of others

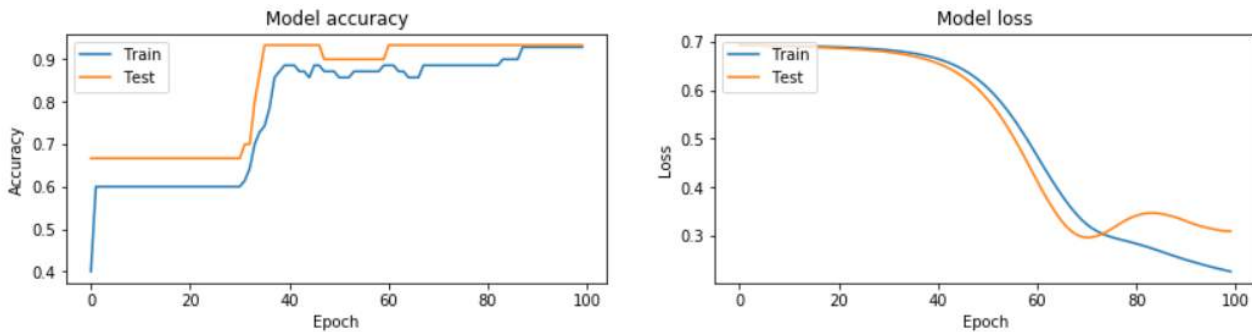


Figure 6. An example of loss and accuracy graph of the DNN model

accuracy (90%) with Random Forest and Logistic Regression when compared to other algorithms. In this study, we were able to obtain the highest accuracy rate of 97% with the MLP classifier when compared to other methods. Experimental results showed that the MLP classifier give better results according to the other algorithms used in this study. In this context, MLP classifier outperformed the best study ever reported in the literature in terms of accuracy, AUC and F1-Score performance criteria.

Based on the experimental results, MLPClassifier method of Python's sklearn.neural_network.MLPClassifier library give the best results (%97 accuracy) in predicting because of having 100 hidden-layer neural networks. Our modelled DNN method has fewer hidden layers. We think that if the DNN is trained with more hidden layers (also more neurons) and a very large amount of data, it will give higher result than %90 accuracy.

5. Conclusion and Future Work

In this study, prostate cancer which is one of the most cancer-related deaths of men and whose symptoms have similar characteristics with benign growth was studied. One of the biggest problems in medicine is to diagnose diseases. The lack of specific guidelines for evaluating prostate cancer symptoms and the low predictive rate of currently available diagnostic methods make this study valuable. We think that machine learning methods can be effective in predicting of prostate cancer problems where there are no specific and precise rules and the factors affecting the event can be predicted. Within the scope of this study, various supervised machine learning

techniques were evaluated to predict prostate cancer. For this purpose, nine machine learning algorithms were implemented. The effectiveness of these algorithms are tested with a prostate cancer dataset of 100 patients from the public Kaggle platform. This dataset which is public available online since 2018, also it has been used by some studies in the literature. Experimental results showed that the MLP classifier outperformed the other algorithms used in this study and the best study ever reported in the literature in terms of accuracy, AUC and F1-Score performance criteria.

In this context, MLP classifier was found to be a good alternative for prostate cancer classification according to our experimental results. Thus, we can say that if the computer is trained with machine learning methods based on patient information, it can be clinically useful with high accuracy in predicting cancer. In this way, an unnecessary biopsy of the patient can be prevented. In future studies, it is planned to consider other datasets used in the related studies in the literature to predict prostate cancer. And, it is planned to apply and compare deep learning techniques for different data sets and large amounts of data.

References

Abraham, B., & Nair, M. S. (2018). Computer-aided classification of prostate cancer grade groups from MRI images using texture features and stacked sparse autoencoder. *Computerized Medical Imaging and Graphics*, 69, 60-68.

- Al-Aidaroos, K. M., Bakar, A. A., & Othman, Z. (2012). Medical data classification with Naive Bayes approach. *Information Technology Journal*, 11(9), 1166.
- Alickovic, E., & Subasi, A. (2016). Medical decision support system for diagnosis of heart arrhythmia using DWT and random forests classifier. *Journal of medical systems*, 40(4), 108.
- Alqaraleh, S. (2020). Turkish Sentiment Analysis System via Ensemble Learning. *European Journal of Science and Technology*, (Special Issue), 122-129
- Ankerst, D. P., Hoefler, J., Bock, S., Goodman, P. J., Vickers, A., Hernandez, J., ... & Thompson, I. M. (2014). Prostate Cancer Prevention Trial risk calculator 2.0 for the prediction of low-vs high-grade prostate cancer. *Urology*, 83(6), 1362-1368.
- Arvidsson, I., Overgaard, N. C., Marginean, F. E., Krzyzanowska, A., Bjartell, A., Åström, K., & Heyden, A. (2018). Generalization of prostate cancer classification for multiple sites using deep learning. In 2018 IEEE 15th International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI 2018) (pp. 191-194). IEEE.
- Aydın, C. (2018). Makine Öğrenmesi Algoritmaları Kullanılarak İtfaiye İstasyonu İhtiyacının Sınıflandırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (14), 169-175.
- Batani, S. M., Borghei, S. M., & Jeng, D. S. (2007). Neural network and neuro-fuzzy assessments for scour depth around bridge piers. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 20(3), 401-414.
- Bozkurt, F., Altay, Ş.Y., Yaganoğlu, M., (2015). Yapay Sinir Ağları İle Ankara İlinde Hava Kalitesi Sağlık İndeksi Tahmini, 2.Ulusal Yönetim Bilişim Sistemleri Kongresi, Erzurum.
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine learning*, 45(1), 5-32.
- Chang, A. J., Autio, K. A., Roach III, M., & Scher, H. I. (2014). High-risk prostate cancer—classification and therapy. *Nature reviews Clinical oncology*, 11(6), 308.
- Chollet, F. (2015). Keras: Deep learning library for theano and tensorflow. URL: <https://keras.io/k>.
- Cover, T., & Hart, P. (1967). Nearest neighbor pattern classification. *IEEE transactions on information theory*, 13(1), 21-27.
- Cristianini, N., & Shawe-Taylor, J. (2000). An introduction to support vector machines and other kernel-based learning methods. Cambridge university press.
- Cuzick, J., Thorat, M. A., Andriole, G., Brawley, O. W., Brown, P. H., Culig, Z., ... & Ilic, D. (2014). Prevention and early detection of prostate cancer. *The lancet oncology*, 15(11), e484-e492.
- Çebi, C. B., Bulut, F. S., Fırat, H., Karataş, G & Şahingöz, Ö. K. (2019) Saldırı Tespit Sistemlerinde Makine Öğrenmesi Modellerinin Karşılaştırılması. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(3), 1513-1525.
- Çokluk, Ö. (2010). Lojistik regresyon analizi: Kavram ve uygulama. *Kuram ve Uygulamada Eğitim Bilimleri*, 10(3), 1357-1407.
- De Nunzio, C., Pastore, A. L., Lombardo, R., Simone, G., Leonardo, C., Mastroianni, R., ... & Fuschi, A. (2018). The new Epstein gleason score classification significantly reduces upgrading in prostate cancer patients. *European Journal of Surgical Oncology*, 44(6), 835-839.
- Enačescu, D. (2004). Multilayer perceptron model for prostate cancer prediction. *International Journal of Computer Mathematics*, 81(4), 407-415.
- Erickson, B. J., Korfiatis, P., Akkus, Z., & Kline, T. L. (2017). Machine learning for medical imaging. *Radiographics*, 37(2), 505-515.
- Goldenberg, S. L., Nir, G., & Salcudean, S. E. (2019). A new era: artificial intelligence and machine learning in prostate cancer. *Nature Reviews Urology*, 16(7), 391-403.
- Grönberg, H. (2003). Prostate cancer epidemiology. *The Lancet*, 361(9360), 859-864.
- Gültepe, Y. (2019). Makine Öğrenmesi Algoritmaları ile Hava Kirliliği Tahmini Üzerine Karşılaştırmalı Bir Değerlendirme. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 8-15.
- Huang, D., Quan, Y., He, M., & Zhou, B. (2009). Comparison of linear discriminant analysis methods for the classification of cancer based on gene expression data. *Journal of experimental & clinical cancer research*, 28(1), 149.
- İyi, P., & Erol, H. (2008). Çoklu Lineer Regresyonda En İyi Model Seçimi. *ÇÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, 17(5), 48-56.
- Karadağ, K. (2020). Makine Öğrenme Yöntemleri ile Semen Kalitesi Tahmini. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 306-311.
- Karakoyun, M., & Hacıbeyoğlu, M. (2014). Biyomedikal Veri Kümeleri İle Makine Öğrenmesi Sınıflandırma Algoritmalarının İstatistiksel Olarak Karşılaştırılması. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 16(48), 30-42.
- Klang, E. (2018). Deep learning and medical imaging. *Journal of thoracic disease*, 10(3), 1325.
- Kurt, I., Ture, M., & Kurum, A. T. (2008). Comparing performances of logistic regression, classification and regression tree, and neural networks for predicting coronary artery disease. *Expert systems with applications*, 34(1), 366-374.
- Laabidi, A., & Aissaoui, M. (2020). Performance analysis of Machine learning classifiers for predicting diabetes and prostate cancer. In 2020 1st International Conference on Innovative Research in Applied Science, Engineering and Technology (IRASET) (pp. 1-6). IEEE.
- Li, J., Weng, Z., Xu, H., Zhang, Z., Miao, H., Chen, W., ... & Ye, Q. (2018). Support Vector Machines (SVM) classification of prostate cancer Gleason score in central gland using multiparametric magnetic resonance images: A cross-validated study. *European journal of radiology*, 98, 61-67.
- Liu, W., Wang, Z., Liu, X., Zeng, N., Liu, Y., & Alsaadi, F. E. (2017). A survey of deep neural network architectures and their applications. *Neurocomputing*, 234, 11-26.
- Mika, S., Ratsch, G., Weston, J., Scholkopf, B., & Mullers, K. R. (1999). Fisher discriminant analysis with kernels. In *Neural networks for signal processing IX: Proceedings of the 1999 IEEE signal processing society workshop*, 41-48. IEEE.
- Mohammadi, M. R., Sadrossadat, S. A., Mortazavi, M. G., & Nouri, B. (2017). A brief review over neural network modeling techniques. In 2017 IEEE International Conference on Power, Control, Signals and Instrumentation Engineering (ICPCSI) (pp. 54-57). IEEE.
- Nagpal, K., Foote, D., Liu, Y., Chen, P. H. C., Wulczyn, E., Tan, F., ... & Corrado, G. S. (2019). Development and validation of a deep learning algorithm for improving Gleason scoring of prostate cancer. *NPJ digital medicine*, 2(1), 1-10.

- Özhan, E. (2020). Yapay Sinir Ağları ve Üstel Düzleştirme Yöntemi ile Türkiye'deki CO2 Emisyonunun Zaman Serisi ile Tahmini. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (19), 282-289.
- Pervan, N., & Keleş, Y. (2019). Derin öğrenme yaklaşımları kullanarak Türkçe metinlerden anlamsal çıkarım yapma. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Ramchoun, H., Idrissi, M. A. J., Ghanou, Y., & Ettaouil, M. (2016). Multilayer Perceptron: Architecture Optimization and Training. *IJIMAI*, 4(1), 26-30.
- Ray, S. A. (2020). Survey on Application of Machine Learning Algorithms in Cancer Prediction and Prognosis. In *Data Management, Analytics and Innovation* (pp. 349-361). Springer, Singapore.
- Reda, I., Ghazal, M., Shalaby, A., Elmogy, M., AbouEl-Fetouh, A., Ayinde, B. O., ... & El-Baz, A. (2018). A novel adcs-based cnn classification system for precise diagnosis of prostate cancer. In *2018 24th International Conference on Pattern Recognition (ICPR)* (pp. 3923-3928). IEEE.
- Sajid S. (2018). Prostate cancer dataset, [Online]. Available: <https://www.kaggle.com/sajidsaifi/prostate-cancer>
- Saritas, M. M., & Yasar, A. (2019). Performance analysis of ANN and Naive Bayes classification algorithm for data classification. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, 7(2), 88-91.
- Shakeel, P. M., & Manogaran, G. (2020). Prostate cancer classification from prostate biomedical data using ant rough set algorithm with radial trained extreme learning neural network. *Health and Technology*, 10(1), 157-165.
- Song, Y., Zhang, Y. D., Yan, X., Liu, H., Zhou, M., Hu, B., & Yang, G. (2018). Computer-aided diagnosis of prostate cancer using a deep convolutional neural network from multiparametric MRI. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 48(6), 1570-1577.
- Srivenkatesh, M. (2020) Prediction of Prostate Cancer using Machine Learning Algorithms *International Journal of Recent Technology and Engineering*. 8(5).
- Stephan, C., Jung, K., Cammann, H., Vogel, B., Brux, B., Kristiansen, G., ... & Sinha, P. (2002). An artificial neural network considerably improves the diagnostic power of percent free prostate-specific antigen in prostate cancer diagnosis: Results of a 5-year investigation. *International journal of cancer*, 99(3), 466-473.
- Taşçı, E., & Onan, A. (2016). K-en yakın komşu algoritması parametrelerinin sınıflandırma performansı üzerine etkisinin incelenmesi. *Akademik Bilişim*.
- Taşkıran, U. Ş. (2008). Prostat kanser riski hesaplamalarında yapay sinir ağları kullanımı (Doctoral dissertation, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Timuş, O., & Kıyak, E. (2015). Optimizing MLP Classifier and ECG Features for Sleep Apnea Detection. *Journal of Naval Sciences and Engineering*, 11(1), 1-18.
- Yağanoğlu, M., Bozkurt, F., & Günay, F. B. (2014). EEG tabanlı beyin-bilgisayar arayüzü sistemlerinde öznelik çıkarma yöntemleri. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 2(3), 313-318.
- Yavuz, A., & Çilengiroğlu, Ö. V. (2020) Lojistik Regresyon ve CART Yöntemlerinin Tahmin Edici Performanslarının Yaşam Memnuniyeti Verileri için Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 719-727.
- Yazan, E., & Talu, M. F. (2017). Comparison of the stochastic gradient descent based optimization techniques. In *2017 International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP)* (pp. 1-5). IEEE.
- Yuan, Y., Qin, W., Buyyounouski, M., Ibragimov, B., Hancock, S., Han, B., & Xing, L. (2019). Prostate cancer classification with multiparametric MRI transfer learning model. *Medical physics*, 46(2), 756-765.
- Zaki, M. J., & Meira Jr, W. (2019). *Data Mining and Machine Learning: Fundamental Concepts and Algorithms*. Cambridge University Press.
- Zhang, C., Li, H. R., Fan, J. B., Wang-Rodriguez, J., Downs, T., Fu, X. D., & Zhang, M. Q. (2006). Profiling alternatively spliced mRNA isoforms for prostate cancer classification. *Bmc Bioinformatics*, 7(1), 202.



Konutlardaki Mutfak Yangınları Üzerine Bir Değerlendirme

Zehra Yıldız*

Tarsus Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-1304-4857), zyildiz@tarsus.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 31 Ağustos 2020 ve Kabul Tarihi 31 Ocak 2021)

(DOI:10.31590/ejosat.788253)

ATIF/REFERENCE: Yıldız, Z. (2021). Konutlardaki Mutfak Yangınları Üzerine Bir Değerlendirme. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 621-628.

Öz

Yemek yapılan ya da yemek servisi sunan lokanta, hazır yemek firmaları, işyeri veya konut mutfakları yapının dar bir bölümü olup, başta ısıtma-piştirme ekipmanları olmak üzere birçok elektrikli cihazın kullanıldığı yangın yükü indeksi fazla olan bir bölgedir. Ülkemizde meydana gelen yangınların yaklaşık yarısı konutlarda meydana gelmektedir. Konutlarda meydana gelen yangınların çoğu, mutfaklarda ortaya çıkmakta ve konutun diğer bölmelerine yayılarak yangının büyümesine neden olmaktadır. Bu çalışmada, Mersin ilinde meydana gelen yangınlar ile beraber mutfak yangınlarının nedenleri ve mutfak yangınlarını önlemek için alınabilecek tedbirler ortaya konmuştur. Mersin ilinde meydana gelen yangınlar incelendiğinde en fazla karşılaşılan yangın türü sırasıyla ot yangını, konut yangını, atık yangını ve araç yangını olduğu belirlenmiştir. Mutfak yangınlarına genel olarak yağ buharı ve ısıtma-piştirme sistemleri sebep olduğu belirlenmiştir. Mutfak yangınları, alınabilecek basit önlemlerle engellenebilir düzeyde olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Yangın, Konut yangını, Mutfak yangını, Yağ yangını

An Evaluation on Kitchen Fires in Buildings

Abstract

Restaurants, catering companies, workplace or residential kitchens that serve food or cater are a narrow part of the building, and it is a region with a high fire load index where many electrical devices are used, especially heating-cooking equipment. Approximately half of the fires in our country occur in residences. Most of the fires that occur in residences occur in kitchens and spread to other parts of the house, causing the fire to grow. In this study, the causes of kitchen fires along with the fires in Mersin province and the measures that can be taken for fire prevention are presented. When the fires that occurred in Mersin province were examined, it was determined that the most common type of fire was grass fire, house fire, waste fire and vehicle fire, respectively. It has been revealed that kitchen fires are generally caused by oil mist and heating-cooking systems. Kitchen fires can be prevented by simple measures.

Keywords: Fire, Home fire, Kitchen fire, cooking oil fire

* Sorumlu Yazar: zyildiz@tarsus.edu.tr

1. Giriş

Yangın, kontrol edilemeyen istenmeyen zincirleme yanma reaksiyonudur. Yanma, yanıcı madde, oksijen ve tutuşma sıcaklığına yetecek kadar ısının bir araya gelmesi ile meydana gelen kimyasal bir tepkimedir. Yanmayı sağlayan üç unsurdan yanma üçgenini oluşturan yanıcı madde, ısı ve oksijenden herhangi birinin eksik olması durumunda ısının çekilmesi (soğutma), hava ile teması kesmek (boğma) ve yakıtı ortamdaki uzaklaştırmak gibi durumlarda yanma gerçekleşmemektedir. Mutfakta tahta, metal, kağıt, kumaş ve plastik malzemelerden yapılmış gereçler bulunmakta olup, yanıcı özelliktedirler. Havanın %21'i oksijenden oluşmakta olup, mutfakta yanabilme aralığına yetecek kadar oksijen bulunmaktadır. Yanıcı madde ve oksijen her zaman mutfak ortamında bulunmaktadır. Yanma üçgeninin bu iki kenarı uygun oranlarda bulunduğu üçüncü kenar ısı sağlandığında yanma üçgeni tamamlanır ve yangın meydana gelir.

Mutfaktaki yangınların iki ana sebebi vardır: yağ buharı ve ısıtma-pişirme cihazları. Yanma olayında yanıcı madde öncelikle ortamdaki ısı alarak buhar haline gelmesi gerekir sonra bu buhar ısınarak genişler yangına ve yangının yayılmasına sebebiyet verir. Yanma olayında ısı, yanıcı maddenin tutuşmasını sağlayan kendi kendine yanmayı besleyecek buharın üretilebildiği sıcaklıktır. Yağ buharı, ısı ve yanıcı buharı taşımaktadır. Yağ buharı yoğunlaştığı durumda yağ tabakasına neden olmakta ve uygun koşullarda bu tabaka yanabilir durumdadır. Gazla ya da elektrikle çalışan birçok ısı kaynağı mutfakta bulunmaktadır. Mutfakta kullanılan ısıtma-pişirme cihazları da yanma için gerekli ısıyı sağlamaktadır. Yanma üçgeninin üç unsuru mutfak ortamında bulunmaktadır. Bu yüzden, mutfaklar yangın riski barındıran ortamlar olup, gerekli önlemlerin alınmaması durumunda yangın mutfaktan başlayarak yangının diğer kısımlarına yayılarak büyüyebilir.

Mutfak, tavan, taban, duvar, pencere ve kapılarla etrafı sınırlanmış kapalı bir mekandır. Mutfaktaki yangın, kapalı alan yangınları içerisinde değerlendirilir. Yanma, hız ve müdahale yöntemi açık alan yangınlarından farklıdır. Kapalı bir mekanda yangın ilerledikçe havadaki oksijen tükenmekte yanmamış gazlardan oluşan duman miktarı artmaktadır. Mutfakta yangın başladıktan sonra hava yanma olayı için tüketildiğinden azalır ve yanma sıcak tutme denilen aşamaya geçer. Bu aşamada, oksijen yetersizliğinden dolayı yanmamış gazlar tavanda birikmiş halde olup, kapı veya pencere açıldığında oksijenin içeri girmesi ile yanmamış gazlar parlayarak yanar. Bu tehlikeli duruma geri tepme denir (Bakırcı, 2020).

Yangınlar, yapısal ve yapısal olmayan yangınlar diye iki sınıfa ayırabiliriz. Konut, fabrika, diğer bina ve araç yangınları gibi dört tarafı çevrilmiş kapalı alan yangınları yapısal yangınlardır. Ot, çöp ve orman-fundalık gibi yangınlar yapısal olmayan yangınlardır (Kara, 2018). Yapı türüne göre yangın tehlikesi, yangın yükü indeksine göre belirlenir. Yangın yükü indeksi, bir yapı içerisinde birim alan başına bulunan yanıcı madde miktarıdır. Yangın yükü indeksi, yangın şiddeti ile orantılıdır. Yangın yükü indeksine, yapılar arası boşluk, yapının şekli, boyutu ve kullanılan yapı malzemesi gibi değişkenler etki eder. Yangın yükü indeksi hesabında yanıcı madde bulunmayan arazi, yol, bahçe, göl ve cadde gibi boş araziler gibi yapılar arası

boşluklar da dikkate alınır. Bu sebeple yangın yükü indeksi azalır. Yangın yükü indeksi hesabı, yangın çıkarma olasılığı bulunan maddelerin fazla olması sebebiyle zordur. Ayrıca, yapı bileşenleri üzerindeki yangın etkisi, sıcaklık, süre ve boyutlar ile orantılıdır (Çelik, 2019).

Yangının başlangıç evresinde ısının duvarlara ve tavana uzak olması yangının gelişim süresini geciktirir. Ancak yanma gerçekleşince yangının şiddeti artar ve yapı tamamen çökebilir. Yangının yayılmasına yangın yükü indeksine etki eden faktörler etkilidir. Yanıcı maddeler arası mesafe yapılarıdaki imar sıklığı arttıkça yangının yayılma tehlikesi artar. İmar sıklığı %25 olan bölgelerde yangının bir binadan diğerine sıçrama ihtimali yoktur.

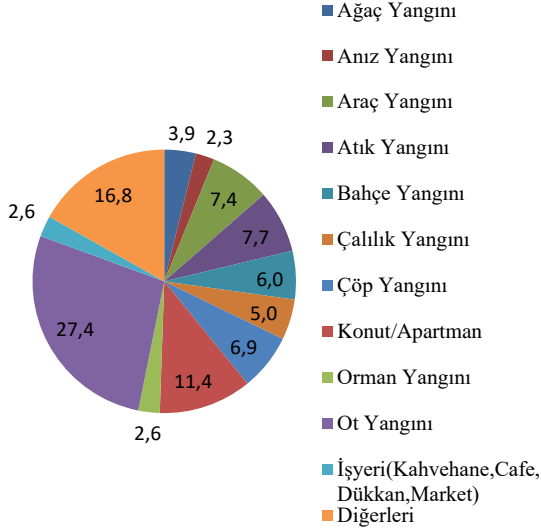
Yapılar, yangın yükü indeksine göre düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere grupta sınıflandırılır. Apartman daireleri düşük, hastane, hapishane, oteller ve ahşap evler, büro, ticaret ve okul binaları orta, toplantı ve eğlence yerleri ise yangın yüküne göre yüksek olan yapı tipleridir. Bu yapıların hemen hemen hepsinde mutfak bulunmaktadır. Mutfak yangınları da yapısal yangınların içerisinde değerlendirilmektedir. Kapalı alan yangınlarının büyük bir çoğunluğu yemek pişirme ünitelerinden çıkan yangınlar oluşturmaktadır.

Yangına müdahale yangın sınıfına göre yapılmaktadır. Bu tür sınıflandırmalar yangın durumunda yangına müdahale etme faaliyetlerini hızlandırılmasını sağlamakta ve çevreye verilebilecek zararı en aza indirmektedir. Yanıcı maddeye göre yapılan yangın türlerinde yanıcı maddenin sıvı fazda olduğu yangınlar B, F ve K sınıfı yangınlar olarak sınıflandırılır. Ulusal Yangında Korunma Derneği (NFPA) standartlarına göre mutfak yangınları K sınıfı (kitchen) olarak sınıflandırılmıştır. Avrupa standartlarında ise F sınıfı yangınları, mutfak yangınları ya da yağ yangınları olarak bilinmektedir. Yağ yangınları özellikle yemek pişirmek ve kızartmak için mutfaklarda kullanılan yağların tutuşma sıcaklığına kadar ısınmasından dolayı gerçekleşir. Kızgın yağı söndürmek için bilinçsiz bir şekilde üzerine dökülen su yağ ile temas ettiğinde genişler yangının büyümesine sebebiyet vermekle beraber söndüren kişi hayatını tehlikeye atmaktadır. Yağ yangınlarını söndürmek için hava ile teması kesmek suretiyle müdahale yapılması gerekir ve F sınıfı potasyum içerikli yangın söndürme maddesi kullanılır (Mamacioğlu ve ark., 2017; Çelik, 2019; Tüyander 2020). Yağ buharlarının yoğunlaşarak davlumbaz birikmesi ve bu yağ tabakasının iyi temizlenmemesi durumunda da davlumbaz yangınları çıkmaktadır. Ocak için kullanılan likit petrol gazı (LPG) tüplerinin patlaması C sınıfı yangınları ya da mutfakta bulunan elektrikli cihazlarından kaynaklı E sınıfı elektrik yangınları da çıkabilmektedir.

2. Mersin İlinde Yaşanan Yangınlar

Mersin, ülkemizin tarım ve turizm faaliyetlerinde önde gelen bir şehridir. Mersin büyükşehir belediyesi itfaiyesi 2019 verilerine göre Mersin ilinin tatil bölgelerinde yer alan otellerinde yangın meydana gelmemesi, turizmde yangın güvenliği açısından güvenli bir şehir olduğunu göstermektedir. Ayrıca şehirde bulunan banka, büro, muayene ve işhanı gibi kapalı mekanlarda yangın ortaya çıkmadığı görülmüştür. Şekil 1 den görüldüğü üzere 2019 yılı Mersin ilinde sırasıyla en fazla ot yangını, konut yangını, atık yangını, araç yangını, çöp yangını, çalılık ve ağaç yangını meydana gelmiştir. Yaz mevsimi ile

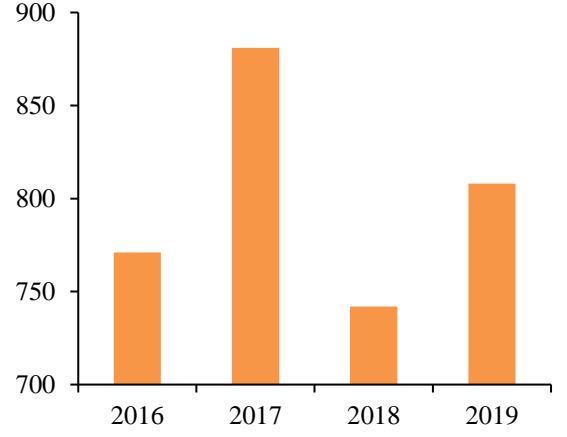
sıcaklık artması ot yangınlarında artmasına sebep olduğu söylenebilir. Mersin ili yılın 300 günü güneşlenme potansiyeli olan yaş sebze ve meyve üretiminde önde gelen bir şehirdir. Tarım ve ormanlık alanlarının fazla olması nedeniyle ot, saman, çalılık ve orman yangını fazla olmaktadır. Bu tür açık alan yangınları hava sıcaklığının arttığı yaz aylarında daha fazla olduğu görülmüştür. Atık, çöp, ot, konut yangınları ise en fazla Akdeniz, Toroslar ve Tarsus ilçelerinde meydana gelmiştir (Mersin Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Başkanlığı, 2020). Mersinin bu ilçeleri nüfus yoğunluğunun, çarpık kentleşmenin, göç ederek yerleşenlerin fazla olduğu ve eğitim seviyesinin daha düşük olduğu yerleşim birimlerindedir.



Şekil 1. Mersin ilinde yaşanan yangınlar

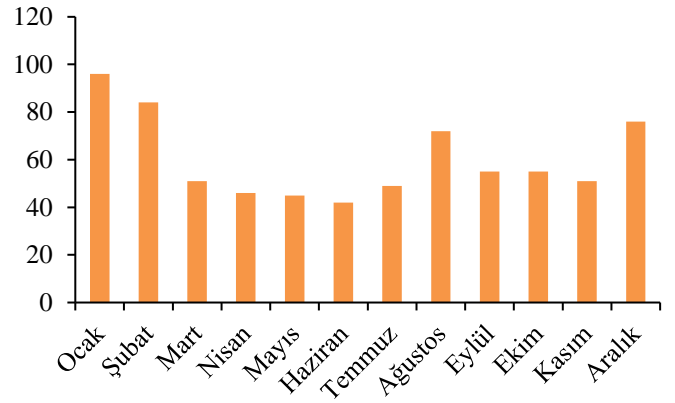
Ülkemizde meydana gelen yangınların yaklaşık %45'i konutlarda meydana gelmektedir. Konutlar yangınlarının %40'ı mutfak, %20'si soba ve elektrikli ısıtıcı gibi ısıtma kaynakları, %10 sigara ve %5 elektrik ve çocuklardan dolayı gerçekleşmektedir (Kara ve Kara, 2018; Kılıç, 2014). Konutlarda meydana gelen yangınlarda, yangının çıktığı daire yanarken yangın yükü düşük olduğundan genellikle diğer dairelere yangın yayılmaz. Ancak duman, merdiven boşluğundan binanın tamamına yayılabilir (Kılıç, 2014). Yangınlarda meydana gelen ölümlerin sebebi, bina yangın güvenlik önlemlerine, yanıcı madde bileşimi, miktarı ve hane halkın yaşam şekline bağlıdır (Kılıç, 2018).

Mersindeki kapalı alan yangınlarında, konut yangınları ilk sıradadır. Konut yangınlarının yaklaşık %35'i kış döneminde Ocak-Şubat-Mart döneminde gerçekleşmiştir. Ortalama her yıl toplam 700-900 arasında özel ve kamu konutlarında yangın meydana gelmiştir. Mersinde konutlarda her ay ortalama yaklaşık olarak 40-100 arasında yangın gerçekleşmiştir. Mersin ilinde 2019 yılında özel konutlarda 779 ve kamu binalarında 28 yangın meydana gelmiştir. Bu yangınlarda maddi hasarla beraber can kayıpları da yaşanmıştır. Mersinde en fazla konut yangını sırasıyla Akdeniz, Toroslar, Yenişehir ve Tarsus ilçelerinde meydana gelmiştir (Mersin Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Başkanlığı, 2020).



Şekil 2. Yıllara göre konut yangınları değişimi

Mersinde 2016-2019 yılları arasında meydana gelen konut yangınları istatistik verileri incelendiğinde konut yangınları en fazla kış mevsiminde Aralık, Ocak ve Şubat aylarında meydana geldiği görülmüştür (Mersin Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Başkanlığı, 2020). Kış aylarında hava soğuk ve günler kısa olduğu için konut sakinleri vakitlerini evde geçirmekte dolayısıyla daha fazla kişi daha fazla süre konutta bulunmaktadır. Bu durum, insan kaynaklı ihmal ve bilgisizlik yüzünden gerçekleşebilecek yangınların olasılığını artırmaktadır. Yangın istatistik verileri incelendiğinde Ocak ayı en fazla konut yangını meydana geldiği ay olduğu görülmüştür. Ocak ayında meydana gelen konut yangınları, yaz aylarında çıkan yangınların yaklaşık iki katı kadar fazladır. Ocak ayında havanın soğuk olması ev sakinlerinin vakitini daha fazla evde geçirmeleri ve sömestr tatilinden dolayı çocukların evde bulunması yangın çıkma olasılığı artırdığı söylenebilir.



Şekil 3. Aylara göre konut yangınları değişimi

Mersin ilinde yaz aylarında sıcaklığın artmasıyla beraber tutuşma noktası düşük maddelerin yanması için gerekli ısı sağlandığı için ot yangını, atık yangını, araç yangını, çöp yangını, çalılık ve ağaç yangınları gibi açık alan yangınlarında artış olduğu görülmüştür. Ancak sadece konutlarda, kış aylarında yaz aylarına göre çok daha fazla yangın çıkmıştır. Konut yangınlarının çoğu mutfak bölümünde çıkmakta ve mutfakta ısıtma-pişirme işleminden dolayı yangın çıkması için gerekli ısı kaynağı bulunması yangın riskini artırmaktadır.

3. Mutfak Yangınları ve Nedenleri

Ülkemizde meydana gelen yangınların yaklaşık %45'i konutlarda meydana gelmektedir (Kılıç, 2018). Bu yangınlar, elektrik kontağı, sigara, sabotaj, baca, ütü ve ocak kaynaklıdır (İBB İtfaiye Daire Başkanlığı, 2020). Konut yangınları sırasıyla en fazla mutfak, yatak odası, oturma odası, salon ve diğer mekanlarda gerçekleşmektedir. Konutlarda meydana gelen yangınların da %40'ı ise mutfaklarda meydana gelmektedir. Mutfak yangınlarında günde 20 den fazla kişi ölmekte ya da yaralanmaktadır (Ahrens, 2007; Razon ve Ahmad, 2017). Mutfak, yiyeceklerin hazırlandığı ve depolandığı, yemeklerin yenildiği, bulaşıkların yıkandığı ve diğer aile bireyleri ile arkadaşların toplanıldığı özellikle bayanların daha çok zaman geçirdiği bir bölümdür. Kesici madde, sıcak ortam, gazlı veya elektrikli pişirme cihazlarının bulunduğu riskli bir ortamdır. Mutfak alanı, genelde evin veya işyerlerinin dar bir bölümüdür. Bu durum riskin olasılığını ve şiddetini artıran bir faktördür. Mutfakta yanık, zehirlenme, patlama, yangın, çarpma, düşme ve kesme gibi insan hayatını tehlikeye atan olaylarla karşılaşmaktadır. Mutfaktaki en önemli tehlike ise yangın ve patlamadır.

ABD'de NFPA (Ulusal Yangından Korunma Derneği) verilerine göre yangınların %9'u mutfakta meydana gelmiştir. Mutfaktan diğer mekanlara yangının yayılması ile ölümlü vakaların sayısının arttığı belirtilmiştir. Bu yüzden mutfak yangınları, yangında ölenlerin dolaylı olarak %70'inden sorumludur. NFPA verilerine göre 2010-2014 yıllarında evlerde gerçekleşen yangınların %33'ü ve 2013-2017 yıllarında ise %49'ü mutfaktameydana geldiği görülmüştür. Bu yangınlar, ölümlerin %21'i ve yaralanmaların %45'inden sorumludur (NFPA, 2020).

Mutfak yangınları, ısıtma-pişirme ekipmanı, elektrik, gaz sızıntısı, tüp patlaması, yağ tutuşması, aspiratör ve bacada biriken kurumun tutuşması gibi özel nedenlerle de çıkabilmektedir. Mutfak yangınının temel olarak iki nedeni vardır. Bunlar, yağ buharı ve ısı kaynaklı gazlı veya elektrikli ısıtma-pişirme ekipmanlarıdır. Yağ buharı yoğunlaşarak yanıcı yağ tabakası oluşumuna ve buharın taşıdığı ısı ile hem bu tabakanın tutuşmasına hem de ortamdaki diğer maddelerin tutuşmasına neden olur (Tüyander, 2020). Özellikle ısıtma-pişirme ekipmanı kaynaklı mutfak yangınları çok fazladır. Mutfaklarda yiyecek veya içecekler, pişirilir ya da ısıtılır. Isıtma-pişirme elemanı olarak ocak, fırın, mikrodalga fırın, fritöz, ızgara, tost makinesi, su ısıtıcısı, çaycı ve kahve makinesi gibi çoğu elektrikli mutfak cihazları kullanılmaktadır. Pişirme ekipmanı, yangından kaynaklı ölümlerin %14'üne neden olmaktadır. Ocak ve pişirme ekipmanı, mutfak yangınlarının yaklaşık üçte ikisini oluşturmaktadır. Ayrıca pişirme yangınlarının çıkmasında başlıca etken, ocak üstünde ya da fritöz kullanılarak yapılan kızartma işlemidir. Amerika da ev yangınlarının %15'i, İngiltere de gerçekleşen ev yangınlarının ise %52'si pişirme ekipmanları kaynaklıdır. Bu yangınlarda yüzlerce kişi ölmüş, binlerce kişi yaralanmış ve büyük maddi zararlar yaşanmıştır (Department for Communities and Local Government, 2015; Chow, 2019; Tüyander, 2020).

Mutfaktaki yangınlar, yangınların genel meydana gelme sebeplerinde olduğu gibi başlıca korunma önlemlerinin alınmaması, bilgisizlik, ihmal, kaza ve sıçrama gibi genel sebeplerle çıkmaktadır. Ocak üstünde unutulmuş yemekler veya içecekler ihmal sebepli yangınlardır. Ocaktan alev ya da sıcak yağ sıçraması, yiyecek ya da içeceğin taşması veya dökülmesi

ile meydana gelen yangınlar sıçrama kaynaklı yangınlardır. Pişen gıdanın veya pişirme aletinin gereğinden fazla ısınması, mikrodalga fırına metal konması, davlumbaz yangınları ve yağ yangınları bilgisizlikten dolayı çıkan yangınlardır.

Yemek pişirme işlemi, yangının meydana gelmesi için gereken tutuşma noktasına yetecek ısı kaynağını sağlayan olaydır. Isı kaynağı olarak elektrik ya da gaz yakıt kullanan birçok mutfak ekipmanı kullanılmaktadır. Yemekler, ızgara haricinde ya su ya da yağ gibi ısıyı taşıyan bir ortamda pişirilir. Mutfaklarda kaynar su ve kızgın yağın taşması, dökülmesi ve sıçraması dolayısıyla yangın riski vardır. Özellikle yağın tutuşma sıcaklığının yüksek olması ve bu sıcaklıkta mutfaktaki birçok malzemenin tutuşma sıcaklığına yetecek kadar bir ısı ortamı oluşması en önemli yangın sebebidir. Yağın kızgın buharı, önlemler alınmazsa yağ yangınlarına sebep olabilir. Mutfaklarda yemek pişirmek ve kızartmak için ısıtılan bitkisel sıvı yağların tutuşma sıcaklığına kadar ısınması yağ yangına yol açar. Fritözler gibi yüksek sıcaklıklarda çalışan cihazlarda daha fazla yağ buharı oluşur.

Mikrodalga fırın kaynaklı yangınlar pişirme ekipmanı kaynaklı yangınların %5'ini oluşturmaktadır. Mikrodalga fırınlarda mikrodalgaya uygun olmayan metal gibi ışıyı yansıtan maddeler konulduğunda yangın çıkabilmektedir (Hall, 2008).

Davlumbaz, yemek buharları ve kokularının mutfaktan baca ile dışarı atılmasını sağlayarak mutfak ve konutun yemek kokusunun atılmasını sağlar. Davlumbaz ve hava kanallarına yemek buharı ve ısı taşınır. Özellikle yemek yağı buharı havadan ağır olduğu için bacaya, filtrele veya kanallarda yoğunlaşarak birikebilir. Bu yapışkan vaksı tabakanın tutuşma sıcaklığı, yağın tutuşma sıcaklığından daha düşük olsa da yağ buharının taşıdığı ısı, konveksiyonla davlumbaza ve kanallardaki yağ tabakasına taşınır ve yangına yol açabilir. Pişirme ünitelerinden sıçrayan kıvılcım ve sıcak kurumlar, biriken yağ tabakalarını tutuşturabilir. Davlumbaz altında kızartma veya pişirme yaparken parlayan alev yangınlara neden olabilir. Pişirme sonucu oluşan yağ buharı, aşırı ısıya maruz kalması veya doğrudan alevle temas etmesi ile parlar. Yükselen alevler davlumbaz ve yağ filtrelerine ulaştığında davlumbaz ve kanallardaki biriken yağ tabakasını kolaylıkla tutuşturabilir. Yangın bacaya kadar ilerleyebilir, eğer otomatik söndürme sistemi yoksa ya da çalışmazsa yangın fana ulaşabilir. Davlumbazdaki metal aksamda ısı kondüksiyonla hızlıca iletilir, ortamda tutuşabilecek malzemeleri yakarak yangının tüm binaya yayılmasına sebep olabilir (Chow, 2019).

Mutfakta davlumbaz, ocak ya da barbekü gibi cihazların yemek buharlarının atıldığı baca sistemleri bulunmaktadır. Baca içindeki yağ tabakasının sıcak duman ya da buharla ısı taşıdığı için bu yağ tabakası tutuşabilir. Bu nedenle baca temiz tutulmalı ve periyodik bakımları yapılmalıdır (Chow, 2019). Mutfak aspiratörü ve bacalardaki ısı kurum veya yağ tabakası gibi birikintiler tutuşabilir ve yangına neden olabilir. Gerekli önlemler alınmazsa baca yangınları, çatı yangınına ve bina yangınına sebep olabilir.

ızgara, mangal ve barbekü gibi pişirme cihazları da mutfak yangınlarına neden olmaktadır. Bu pişirme cihazlarında yanma sonucu ortaya çıkan kül ve kurum düzgün temizlenmediğinde zamanla kanallarda birikir. Kanallardaki bu birikinti, buhar ile temas ettiğinde kuru ve yapışkan bir tabaka oluşturur. Yanmamış ancak yanıcı bu tabakada oksijen yetersizliğinden dolayı eksik yanma ya da cihazın teknik özelliklerinden dolayı kısmi eksik

yanma meydana getirir. Bu tabaka yanıcı özellikte olduğundan ısı altında yanar ve yangına yol açabilir.

Yemek pişirirken ocaktaki alevle elbise, gömlek veya bluzun geniş uzunkolu temas etmesi sonucu da yangınlar çıkabilmektedir. Mutfak yangınları kış aylarında genelde daha fazla meydana gelmekte olup, uzun kollu giysiler havanın soğuk olduğu kış mevsiminde giyilmektedir. Havanın sıcak olduğu yaz aylarında giysinin uzun kolundan meydana gelebilecek bir yangın riski yoktur denilebilir. Bu şekilde meydana gelen yangınların pişirme ekipmanı kaynaklı yangınların içindeki oranı %1 dir (Hall, 2008).

Yakılıp söndürülmemiş kibrit ya da bir maddenin çöpe atılması çöp içinde bulunan tutuşma noktası düşükkâğıt parçaları gibi yanıcı maddelerin tutuşarak yanmasına ve yangına sebebiyet verebilir.

3.1. Mutfak Yangınları Önlemleri

Türkiye deki yangınların ikinci çıkış sebebi elektriktir. Mutfaklarda, fırın, mikrodalga fırını, elektrikli ocak, davlumbaz, mutfak robotu, tost makinesi, elektrikli ızgara, çay/kahve makinesi, fritöz, ekmek yapma makinesi ve su ısıtıcısı gibi küçük mutfak ev aletleri ile birlikte buzdolabı ve bulaşık makinesi gibibeyaz eşyalara kadar çok fazla elektrikli alet yer almaktadır. Gerek işyeri mutfakların gerek konut mutfaklarında küçük bir alanda çok sayıda elektrikli cihaz bulunduğundan elektrik yükü ile beraber elektrik yangın riski artmaktadır. Bu sebeple, mutfaklardaki elektrik tesisatının uzman bir elektrikçi tarafından yapılması, eskiyen tesisat yenilenmesi, kapasite üzerinde mutfak ekipmanı kullanılmaması, aynı prizden çok sayıda elektrikli cihaz beslenmemesi, elektrik prizlerinin topraklı olması ve kullanılmayan ekipmanlar fişten çekilmesi gerekmektedir. Ayrıca mutfaktaki elektrikli küçük ev aletleri sudan uzakta konumlandırılmalıdır.

Mutfakta yangın riski taşıyan elektrik dışındabirçok etmen vardır. Bunlar, ısıtma-pişirme cihazları, ocak, elektrikli cihazlar, tüp, davlumbaz, baca ve çöp kutusu gibi ortamlardır. Isıtma-pişirme cihazları, ocak ve elektrikli cihazlar ısı kaynağı, baca, tüp, çöp ve davlumbazda ise daha çok yanıcı madde kaynaklı yangınlardır. Öncelikle yangın çıkmaması için gerekli önlemler alınmalı ve mutfak, yangın risklerine göre tasarlanmalıdır. Mutfakların yangın güvenlik önlemlerine göre tasarımı, binaların yangından koruma yönetmeliğinin pasif yangın güvenlik önlemlerine göre yapılmalıdır. Pasif yangın güvenlik önlemleri, binaların inşaa aşamasında alınan önlemlerdir ve inşaatın sonra ilave edilmez. Özellikle iş yeri mutfakları, bir yapının genellikle alt katına, üst katına veya binanın dışına gerekli tesisat donatılarak inşaa edilir. Mutfaklarda tesisatta çıkabilecek arızalara zamanında müdahale etmek için uygun konumda inşaa edilemelidir (Ayyıldız, 2019). Kaçış yolları, yangın merdivenleri, yangın kapıları, yangın duvarları ve duman tahliye bacaları gibi pasif yangın güvenlik önlemleri de bina inşaaında tasarlanmalıdır. Aktif yangın güvenlik önlemleri ise binanın inşaatından sonra yangın gerçekleştiğinde kullanılan ilave önlemlerdir. Aktif yangın güvenlik önlemleri, yangını başlangıç anında algılayan ve yangının yayılmaması için gerekli olan yangın güvenlik sistemleridir. Özellikle iş yeri, hazır yemek sektörü ve lokantaların mutfaklarının yangından korunması için öncelikle alınması gerekli önlemlerdir. Aktif yangın algılama ve söndürme sistemlerinin eksikliği nedeniyle yangınlardaönemli kayıplar yaşanmaktadır. Alev-duman algılama sistemleri, köpüklü-gazlı söndürme sistemleri, yangın kontrol paneli,

alarmlar, sabit boru tesisatı, yangın dolapları veyangın söndürme tüpübaşlıca aktif yangın güvenlik önlemlerindedir (Çelik, 2019; Yıldız ve Köse, 2020).

Ocak üstünde unutulmuş yemekler veya içecekler, taşma, dökülme, sıçrama, pişen gıdanın veya pişirme aletinin yanması ile yangın meydana gelebilir. Bu sebeple yemek pişine kadar ocağın yanından ayrılmamalı ya da ayrılma durumunda ocak kapatılmalıdır. Yatmadan önce ocakta bir şeyler bırakılmamalıdır. Mutfaktan ayrılma durumunda pişirme aletinin ısısı düşürülmeli ya da kapatılmalıdır. Ocakta taşma ve dökülme durumunda alevin sönmeye yanmayan gaz olası ufak bir kıvılcım ile patlayabilir. Alevsiz elektrik indüksiyonlu ocaklarda yangın riski olmadığından ocak seçiminde öncelikle tercih edilebilir ya da daha az maliyetli gaz sızıntısını algılayıp, kapanan ocakları kullanmak ya da satın almak tercih edilmelidir (Chow ve Ni, 2014). Taşması muhtemel yemekler pişirilirken daima kısık ateşte ve derin bir kapta veya kabı tamamen doldurulmadan kullanılmalıdır. Mümkünse, zamanlayıcı özelliğini olan pişirme cihazları tercih edilmelidir. Mikrodalga fırın zamanlama özelliği olduğundan ısıtma işlemlerinde tercih edilebilir ancak metal kap kullanılmamalıdır.

Yemek pişirirken ocaktaki alevle temas edip yanabilecek salaş, bol ve dökümlü uzunkollu giysiler giyildiğinde dikkat edilmelidir. Mutfakta pişirme-ısıtma işi yapıldığında giysinin kolu sıyrılmalıdır.

Evcil hayvanlar ve çocuklar ocak ile fırından uzak tutulmalı, her zaman denetlenmelidir. Çocukların çaydanlık, tava ve tencere kulplarına ulaşmaları engellenmeli veya tehlike oluşturmayacak şekilde konumlandırılmalıdır. Tencere ya da tavanın kulpu, devrilmeyi önlemek için ocağın üzerine sapları içeri doğru olmalıdır. Tencere veya tava kulpları sıcaksa bir tutacakla tutulmalı veya kulpu ısı yalıtkan olan kapların kullanımı tercih edilmelidir. Tava veya tencerelerde küçük bir parlama olduğunda, kimyasal tozlu yangın söndürücülerinde içeriğinde bulunan aynı zamanda hamur işlerinde çokça kullanılabilecek sodası (bikarbonat) ile yangın söndürülebilir. Bu yüzden, ocağın yanında, görülebilecek veya ulaşılabilecek konumda cep sodası bulundurulabilir.

Fırınlarda termostatlı olup, ısı ve zaman kontrolü yapılabilen bir mutfak cihazıdır. Ancak olası yangına karşı fırın etrafında yanmaz, ısı yalıtkan koruyucu bir panel olursa yangın riski ortadan kaldırılabilir. Lavabo, bankonun üstü ve mutfak dolapları yanmaz bir kaplama ile kaplanabilir. Mutfak dolapları genellikle ahşap mobilya olup, yangın çıkması durumunda tahtanın tutuşma noktasının düşük olmasından dolayı kolaylıkla tutuşabilir ve yangının büyümesine neden olabilir. Bu sebeple mutfak dolapları A1 veya A2 sınıfı yanmaz bir kaplama ile kaplanabilir ya da yanabilirliği düşük bir malzemedan yapılan mutfak dolapları tercih edilebilir. Ocak ya da fırından olası alev ya da kıvılcım sıçramalarına karşın ocağa veya fırına yakın kurutma bezleri, mutfak havlusu, peçete, kağıt havlu, fırın eldivenleri, örtü ve diğer yanıcı herhangi bir madde bulunmamalı veya en az 1 m uzakta olmalıdır (İnan ve ark., 2007). Ayrıca ocak yakınındabulunan perde ve güneşlikler, rüzgâr ile ocağın açık alevine yaklaşması nedeniyle tutuşabilir. Bu sebeple rüzgarda hareket etmeyecek stor perde ya da yanmaz kumaştan perde tercih edilebilir. Ayrıca ateş kaynağı olabilecek ocak, fırın veya ızgara perdeye uzak bir konuma yerleştirilebilir.

Su kaynatırken kullanılan kapları tamamen doldurmayarak taşma önenebilir. Ayrıca kaynar suyu başka bir kaba aktarmak için ısı iletmeyen kaplar kullanılmalıdır. Sıvı yağ kapta yavaş

yaşas kızdırmalı, uygun büyüklükte tencere kullanılmalı, kabın en fazla üçte biri yağ ile doldurulmalı ve ocak yağın sıçramasını önleyecek şekilde ısıtılmalıdır. Mümkünse otomatik sıcaklık ve zaman kontrollerine sahip elektronik derin bir fritöz kullanılmalıdır. Sıvı yağ yangınlarını söndürmek için kesinlikle su kullanılmamalıdır. Yağ buharının sıcaklığı suyu buharlaştırarak genişlemesine, yangının büyümesine ve yayılmasına neden olur. Kızartma esnasında yağ buharının parlaması veya alev almasını engellemek için öncelikle ısı kaynağını ortadan kaldırmak için ocak kapatılmalı daha sonra hava ile teması kesmek, boğmak için kapak üzerine kapatılmalı, kap hareket ettirilmemeli ve soğuduğundan emin olmadıkça kapak açılmamalıdır (Mamacioğlu ve ark., 2017; Razon ve Ahmad, 2017; Ling Hsu ve ark., 2019).

Kızgın yağ, kaynama noktasının yüksek olması nedeniyle tehlikelidir. Mutfakta pişirme ve kızartma için zeytinyağı, ayçiçek yağı, kanola, fındık yağı ve mısır yağı gibi bitkisel sıvı yağlar kullanılmaktadır. Bu yağlar arasından daha ucuz olduğu için ayçiçek ve mısır yağı daha çok kullanılmaktadır. Ayçiçek yağının dumanlanma noktası 209-213°C arasındadır. Dumanlanma noktası, yağların ısıtma sırasında sürekli duman oluşturduğu sıcaklıktır. Duman yanmamış partiküllerin havada asılı halinde taşındığı bir aerosoldur. Kızartma sırasındaki yağların dumanlanma noktası değeri için bir limit belirlenmiştir, örneğin ayçiçek yağı için bu yasal limit 170 °C dir (Yaşdağ ve Tekin, 2017). Yağı fazla ısıtmamak sağlık ve güvenlik açısından önemlidir. Yağın alev aldığı zamanki sıcaklığı 675°C ye kadar çıkabilmektedir (Chow, 2019). Sıcak yağ döküldüğünde veya deriye sıçradığında çok ciddi yanıklara neden olur. Kaynar su ve kızgın yağ nedeniyle oluşan yanıklar, çoğunlukla 2. veya 3. derece yanıklardır. 2. derece yanıkta deri su toplayarak kabarcıklar ve acı verir. 3. derece yanık, derinin kömürleşecek derecede kavrulması şeklinde gerçekleşen yanıklardır. Cildin tüm katları, cilt altı yağ ve kas, tendon gibi derin yapılarda kömürleşmiş görünüm vardır (Shrader, 2012).

Kızgın yağda pişirilecek ya da kızartılacak gıda kuru olmalı, suyu süzülmesi veya donmuş gıdalar tamamen çözündürüldükten kullanılmalıdır. Aksi takdirde kızgın yağa giren su, hızlıca buharlaşıp yağın sıçramasına neden olur. Kaynar su ve kızgın yağ ile çalışırken, içinde buldukları kabın devrilmesi ciddi bir tehlike oluşturur. Bunun için kaynatma veya kızartma kısa saplı tava veya kaplarda ocağın uzak köşesinde yapılmalıdır.

Davlumbaz yangınlarının önüne geçmek için davlumbaz temizliğine dikkat edilmeli, filtreler ve hava kanalı düzenli temizlenerek yağ tabakasının oluşması engellenebilir. Ayrıca gerektiğinde filtreler değiştirilmelidir. Davlumbaz bacalarından çıkan hava kanalının mutfaktan çıktığı kısma yağ toplama çekmecesini yerleştirilebilir. Binaların yangından korunması yönetmeliğine göre konut dışındaki alışveriş merkezleri ile yüksek binalarda bulunan mutfaklar ve yemek fabrikaları ile bir anda 100'den fazla kişiye hizmet veren mutfakların davlumbazları için otomatik söndürme sistemi zorunludur. Ancak konutlarda kullanılan davlumbazlar için de yetkili bir firmaya otomatik söndürme sistemi yaptırılabilir (BYKHY, 2015).

Baca yangınları, yangınların başlıca nedenidir. Ülkemizdeki yangınların %8 i bacadan kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla bacaların temizliği ve yalıtımı çok önemlidir. Doğalgaz bacaları yılda bir, normal bacalar yılda iki, lokanta ve yemekhane bacaları ise 15 günde bir defa yetkili firmalara temizlettirilmelidir. Çatlak bacalar tamir ettirilmeli, tıkalı bacalar

ise mutlaka açtırılmalıdır. Biriken kurumlar, baca yangını şeklinde ortaya çıkmasa dahi, baca çekişini engelleyerek, yanma verimini düşürmekte, tütme ve dumanın geri tepmesi ile karbon monoksit zehirlenmeleri nedeniyle ölüm getirmektedir.

Mutfaklarda, balkonlarda ya da bahçelerde ızgara için kullanılan mangal ve barbekülerde yangın tehlikesi barındırmaktadır. Barbekü düz bir zemin üzerine yerleştirilmeli ve etrafında yanıcı bir madde bulunmamalıdır. Barbeküyü canlandırmak için benzin, kolonya ve parafin gibi tutuşma noktası düşük maddeler kullanılmamalıdır. Özellikle katı yakıt kullanılan ızgaralarda pişirilen balık ve et fazla yağ buharı oluşturduğundan pişirme işleminden sonra ızgara ve kanallar tortu kalmayacak şekilde çok iyi temizlenmelidir.

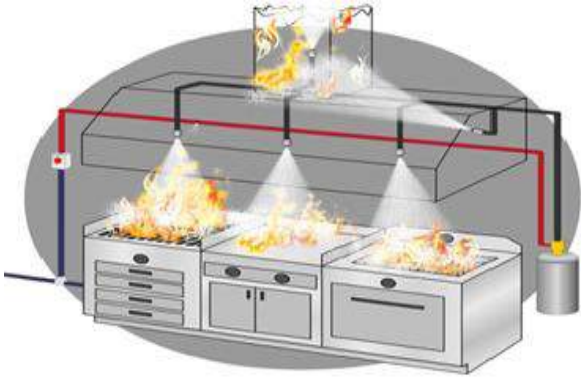
Mutfaklarda enerji kaynağı olarak çoğunlukla LPG veya doğalgaz gibi gaz yakıtlar kullanılır. Gaz kullanılan mutfaklarda havalandırma sistemi veya havalandırma boşluğu olmalıdır. Böylece gaz kaçağı durumunda, gaz bu havalandırma sayesinde ortam dışına atılacaktır. Doğalgaz kullanılan alanlarda doğal gazın havadan hafif olması ve olası sızıntıda tavana birikmesi nedeniyle havalandırma tavana yakın olmalıdır. LPG kullanılan alanlarda ise LPG nin havadan ağır olması ve olası sızıntıda yerde birikmesi nedeniyle havalandırma yere yakın olmalıdır. İyi bir havalandırma için mekanın boyutuna göre gerekli saatteki hava akımı yani havanın hacimsel debisi bilinmelidir. İngiliz standartlarına göre antre için 1 m³/h, banyo ile tuvalet için 2 m³/h, oturma odası ve yatak odası için 12-21 m³/h, mutfak için 56 m³/h olması uygundur. Yapı bölümünde en fazla hava değişim miktarı mutfakta olması gerektiği bu standartta görülmektedir (Kars, 1999).

Gazlı ocaklarda bağlantı noktaları düzenli olarak kontrol edilmeli ve uygun gaz algılama sistemi kullanılmalıdır. Böylece gaz kaçağı fark edilerek engellenebilir. Binaların yangından korunması yönetmeliğince konut dışındaki alışveriş merkezleri ile yüksek binalardaki mutfaklar ve yemek fabrikaları ile bir anda 100'den fazla kişiye hizmet veren mutfakların ocaklarında kullanılan gazın özelliklerine göre gaz algılama, gaz kesme ve uyarı tesisatı zorunludur (Shrader, 2012). Gaz kaçağı olduğu durumda, ısıya neden olacak bir şey yapılmamalıdır, sigara yakılmamalı, herhangi bir şeyin kapağını açarak statik elektriğe yol açılmamalı ve gaz sızıntısı kesilerek ortam havalandırılmalıdır. LPG tüpleri dik tutulmalı, bağlantı hortumları kontrol edilmeli, eskimiş ise yenilenmeli ve 1.25 m'den uzun bağlantı hortumu kullanılmamalıdır. Arızalı dedantör değiştirilmeli ve her tüp değişiminde contaları yenilenmelidir. Piknik tüpleri üzerine geniş tabanlı tencereler koyulmamalıdır. Kaçak tespiti için sabun ya da deterjan köpüğü kullanılabilir. Parlayan tüpler kesinlikle pencereden veya balkondan dışarı atılmamalı, hareket ettirilmemeli, alevin üzeri varsa yangın battaniyesi ya da ıslak bir bezle sarılıp vanası kapatılmalı veya yangın söndürücü kullanılarak yangın söndürülmelidir.

Mutfakta kullanılan her türlü alet, cihaz ve malzeme yanmaya karşı dayanıklılık ya da kolay söndürülebilir olma koşulları yerine getirenlerin üretime uygun kabul edilip üretilmesi yangın güvenliği açısından son derece önemlidir. Mutfakta kullanılan her alet, cihaz ve malzeme teknik özelliklere uygun olarak üretildikten sonra Avrupa birliği standartlarındaki performans testleri uygulanmakla beraber yangınla ilgili ek testler yapılmaktadır.

Yangınları önlemek her zaman söndürmekten daha kolaydır. Mutfak yangınları sıklıkla yaşandığı için mutfak

yangınlarının otomatik söndürülmesi yangın güvenliği açısından önemlidir. Özellikle iş yeri mutfakları, lokantalar ve yemek hizmeti veren mutfaklarda söndürme sistemi olmalıdır. Mutfaklarda da otomatik ve manuel söndürme sistemi ve ekipmanları eksiksiz ve her an çalışabilir olmalı, kullanıcı bilgilendirilmeli ve deneme yapılmalıdır. Her mutfakta uygun bir yangın söndürücü tüp ile yangın battaniyesi bulunmalı, kolayca ulaşılabilecek ancak yemek pişirme alanından uzağa konumlandırılmalıdır. Bir yangın durumunda ise yangının çıktığı mutfaktan diğer bölümlere yangının yayılmaması için gerekli bölümlenmeler olmalı ve yalıtım sağlanmalıdır. Özellikle iş yeri mutfakları, hazır yemek sektörü mutfaklarında binaların yangından korunması yönetmeliğine göre en az 120 dakika yangına dayanıklı olarak bölümlendirilmeli ve duman sızdırmaz kapılar kullanılmalıdır (BYKHY, 2015; İnce, 2016).



Şekil 4. Mutfak Yangın Söndürme Sistemi

Her yıl restoranların %20 sinde mutfak yangın çıkmakta ve önemli ekonomik kayıplar yaşanmaktadır. Mutfak malzeme maliyetinin %5'i kadar düşük bir bütçe ile basit yangın söndürme sistemleri mutfakta kullanılarak yangın önlenir ya da en az hasarla atlatılabilir. Ayrıca mutfaklarda yangın riski oluşturabilecek etmenler belirlenip, yangına müdahale konusunda mutfak çalışanlarına eğitim verilerek yapılacak tatbikatlarla yangınlar önenebilir (Mamacioğlu ve ark., 2017; Tüyander 2020).

Yangının çıkmaması, büyümemesi, yayılmaması ve nasıl müdahale edileceği konusunda ev halkı ya da mutfak çalışanları bilgilendirilmelidir. Mutfakta yangın güvenliği için alınacak tedbirler sekiz madde de özetlenebilir (Razon ve Ahmad, 2017):

- Yemek pişirirken daima mutfakta kalınmalı.
- Bulaşık bezleri, kağıt veya plastik poşetler, kaplar ve perdeler gibi alev alabilecek her şeyocak gibi ısı kaynaklarından en az 1 metre uzakta tutulmalı.
- Gevşek kıyafetler ocağın bekindeki açık alevle temas edebilir ve alev alabilir. Böyle bir durum söz konusu olduğunda dur, yat ve yuvarlan kuralı uygulanmalı.
- Ocak, tost makinesi ve fırın gibi ısıtma-pişirme cihazlarını temiz tutulmalı.
- Her zaman güvenilir bir markanın, test edilmiş ve onaylanmış pişirme ekipmanı kullanılmalı.
- Pişirme bölgesinden bir metrelik "çocuksuz bölge" oluşturarak çocukları ve evcil hayvanları pişirme alanlarından uzak tutulmalı.
- Yağı yavaşça ısıtılmalı, yağın bulunduğu tava veya tencerenin kapağını yanmaz fırın eldiveni ile tutulmalı. Sıçrayan yağ karşı korunmalı.

- Alet ve malzemeler devrilmeyecekleri sabit duracak bir yere yerleştirilmeli.

4. Sonuç

Konutlarda meydana gelen yangınların yarısı mutfakta gerçekleşmektedir. Mutfakta yangın güvenlik önlemleri alınmadığında ya da yetersiz olduğunda mutfakta başlayacak yangın hızla büyüüp yapının diğer bölümlerine yayılabilir ve hane halkının ölümü ile beraber büyük maddi zararlara sebebiyet verebilir. Avrupa Birliği standardında veya ABD'de uygulanması zorunlu olan yangın güvenlik standartlarını belirleyen ve yayınlayan NFPA'nın tasarım hesapları, filtre maddeleri ve hava girişleri gibi alanları kapsayan teknik yönergelerden faydalanılarak ülkemizde yangın güvenliği için esaslı olarak binaların yangından korunması yönetmeliği düzenlenebilir. Özellikle iş yeri mutfakları, yemek servisi yapan mekanların mutfaklarında, yangın riskleri değerlendirilmeli ve gerekli yangın güvenlik önlemleri alınmalıdır. Ayrıca mutfak çalışanlarına yangın güvenliği hakkında eğitim verilerek bilgisizlik ve ihmali sebebiyle çıkabilecek yangınların önüne geçilebilir.

Kaynakça

- Ahrens, M.(2007), Home Kitchen Fires Reported to US Fire Departments, *Residential Kitchen Fire Suppression Research Needs: Workshop Proceedings*
- Ayyıldız S., (2019), Turistik Konak İşletmelerinde Mutfakın Fiziksel Koşullarının Önemi: Safranbolu Yöresel Mutfak Mimarisi Üzerine Bir Araştırma, *Journal of Humanities and Tourism Research*, 9(2), 610-625
- Bakırcı, A.E. <http://imoistanbul.org/imoarsiv/2015seminernotlari/2015-kasim/2016-01-04-erhan-bakirci/seminer-notu.pdf> (Erişim Tarihi: 03.05 2020).
- Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik, (2015). Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik.
- Chow, W.K.(2019), Yüksek Binaların Küçük Konut Birimlerinde Açık Mutfaklara İlişkin Yangın Güvenlik Kaygıları, *TÜYAK Yangın Mühendisliği Dergisi*, 9:42-46
- Chow, W.K., Ni, X.(2014). Experimental Evaluation on Performance of Open Kitchen Fire Suppression Systems, *Fire Safety Science-Proceedings of The Eleventh International Symposium*, 1298-1311
- Çelik, G.(2019), Üniversite Araştırma Hastanelerinde Aktif Yangın Güvenlik Önlemleri, Tarsus Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Department for Communities and Local Government, 2015. Fire statistics: Great Britain April 2013 to March 2014
- Hall, J.R.(2008). Home Fires Involving Cooking Equipment, Fire Analysis and Research Division National Fire Protection Association

- Hsu, W.L., Jhuang, J.Y., Huang, C. S., Liang, C.K., Shiau, Y.C., (2019), Application of Internet of Things in a Kitchen Fire Prevention System, *Appl. Sci.*, 9, 3520, 1-22
<https://tuyander.org.tr/2019/11/07/mutfak-yanginlari/> (Erişim Tarihi: 03.05 2020).
- İnan, H.F., Kurt, Z., Kubilay, İ.(2007), Temel İlk Yardım Uygulamaları Eğitimi
- İnce, A.(2016), Hastanelerde Yangın Güvenliği ve Tahliye Gereklere Üzerine Bir İrdeleme. Üsküdar Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Daire Başkanlığı, (2020), Yangınlarına karşı alınması gerekli tedbirler, İstanbul İtfaiyesi, (Erişim Tarihi: 03.05 2020).
- Kara, İ.B.(2018),2013-2017 Yılları Arasında Artvin İl Merkezinde Meydana Gelen Bina Yangınlarının İncelenmesi, *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 42: 105-114
- Kara, İ.B., Kara C. (2018), Bina Yangınları ve Maddi Zararın İncelenmesi Üzerine Bir Çalışma: Gümüşhane İli Örneği, Mühendislik Ve Mimarlık Çalışmaları
- Kars, F.(1999), Yapılarda Yangın Riskini Sınırlamaya Yönelik Önlemler ve Duman Kontrolünün Sağlanması, VI. Ulusal Tesisat Kongre ve Sergisi
- Kılıç, A., (2014), Konutlarda Yangın Kaçışları, Yangın ve Güvenlik Dergisi,165, 2-3.
- Kılıç, A., (2018), Gelişmiş Ülkelerde ve Türkiye’de Yangın Nedenleri, Yangın ve Güvenlik Dergisi, 200, 8-10.
- Mammacıoğlu, O., Coşkun, G., Soyhan, H.(2017), Su ile Karışmayan Yağ B, F, K Sınıfı Yangınlarında Yangın Söndürme Cihazlarının Doğru Kullanımı. *Uluslararası Yakıtlar Yanma ve Yangın Dergisi*, 5:19-23.
- Mersin Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Daire Başkanlığı, (2020), İstatistikler, Mersin İtfaiyesi.
- NFPA, National Fire Protection Association, (Erişim Tarihi: 03.05 2020).
- Razon, A.A, Ahmad, I.(2017),A Study on Fire Safety and Security at Kitchen in Apartment Buildings, *International Journal of Latest Engineering and Management Research IJLEMR*, 23:62-71
- Shrader, K.W. (2012), Strategies for Reducing Residential Cooking Fires
- Yaşdağ, T., Tekin, A., (2017),Ayçiçek ve Pirina Yağlarının Kızartma Stabilitelerinin Karşılaştırılması, *Gıda*, 42(2): 105-115
- Yıldız, Z., Köse, E., (2020), Motorlu Araç Yangınları Üzerine Bir İnceleme, *EJOSAT*, 19, 119-126



Fosfat Kaplama İşleminde Aktivasyon Parametreleri ve Kaplama Süresinin Kaplama Kalitesine Etkisi

Elif Yaman^{1*}, Semih Ulubayrak², Nurgül Özbay³

¹ Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Merkezi Araştırma Laboratuvarı, Bilecik, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1052-8779) elif.yaman@bilecik.edu.tr

² Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Bilecik, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0474-8318) semihulubayrak@uzmankataforez.com

³ Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Bilecik, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0666-3417) nurgul.ozbay@bilecik.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 28 Kasım 2020 ve Kabul Tarihi 31 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.832850)

ATIF/REFERENCE: Yaman, E., Ulubayrak, S., & Özbay, N. (2021). Fosfat Kaplama İşleminde Aktivasyon Parametreleri ve Kaplama Süresinin Kaplama Kalitesine Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 629-634.

Öz

Metal sektöründe önemli bir problem olan korozyonun sebep olduğu malzeme ve iş gücü kaybına çözüm olarak yüzyıllardır uygulanan yöntemlerin en bilineni metal kaplama işlemidir. Fosfat kaplama, çok geniş bir kullanım alanına sahip olduğu için sıklıkla tercih edilen bir kaplama türüdür. Yapılan bu çalışmada, fosfat kaplama işlemi sırasındaki aktivasyon basamağı ve kaplama süresinin kaplama kalitesi üzerine etkisi incelenmiştir. Fosfat tabakası sırasındaki aktivasyon süreci parametresi olarak ortamın pH değeri, aktivasyon süresi ve fosfat kaplama süresi değiştirilmiştir. Elde edilen SEM görüntülerine göre aktivasyon ortamının pH değeri azaldıkça, fosfat kristal oluşumu kötü yönde etkilenmiş ve fosfat kaplama yüzeyinde lekeli bir görüntü elde edilmiştir. Yüksek pH değerlerinde ise metal yüzeyinde homojen olmayan fosfat tabakası oluştuğu belirlenmiştir. Aktivasyon süresinin düşük olduğu çalışmalarda parça yüzeyinin yeterince aktive olmadığı ve fosfat kaplama tabakasının güçlü tutunma sağlamayacağı belirlenmiş ve elde edilen SEM görüntülerine göre, aktivasyon maruziyeti için en uygun pH değerinin 9,00 ve aktivasyon süresinin 60 s olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Metal, Korozyon, Fosfat Kaplama, Otomotiv, Taramalı Elektron Mikroskobu, Aktivasyon

Effect of activation parameters and coating time on the coating quality in phosphate coating process

Abstract

Metal coating is the most well-known method that has been applied for centuries as a solution to material and labor loss caused by corrosion, which is an important problem in the metal industry. Phosphate coating is a preferred coating process because it has a wide range of uses. In this study, the effect of the activation step and coating time on the coating quality during the phosphate coating process was investigated. During activation process in phosphate coating, pH value of the solution, activation time and phosphate coating time have been changed as process parameters. According to the obtained SEM images, as the pH value of the activation solution decreased, the phosphate crystal formation has been adversely affected and a stained surface has been obtained on the phosphate coating surface. At high pH values, it has been determined that a heterogeneous phosphate layer formed on the metal surface. In studies with low activation time, it has been observed that the surface of the samples has not been activated enough and the phosphate coating layer would not provide strong adhesion, and according to the SEM images obtained, it was determined that the optimum pH value for the activation process was 9.00 and the activation time was 60 s.

Keywords: Metal, Corrosion, Phosphate Coating, Automotive, Scanning Electron Microscopy, Activation

* Sorumlu Yazar: Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Merkezi Araştırma Laboratuvarı, Bilecik, Türkiye, ORCID: 0000-0002-1052-8779, elif.yaman@bilecik.edu.tr

1. Giriş

Tüm endüstriyel alanlarda metal kullanımının günden güne artmasına bağlı olarak, metalin korunması ve kullanım ömrünün iyileştirilmesine yönelik çalışmalar da önem kazanmaktadır (Campbell, 2008; Sinha ve Tyagi, 2020).

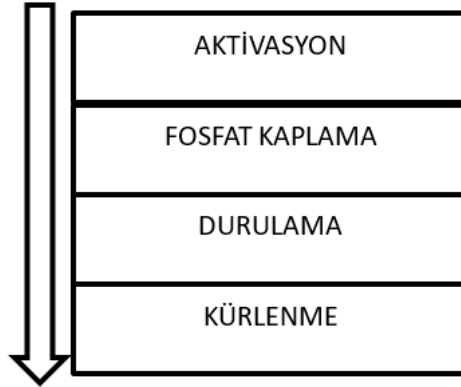
Metalik malzemelerin içinde buldukları mevcut çevre ile girdikleri elektrokimyasal reaksiyonlar sonucunda kimyasal yapısında ve yüzeyinde görülen değişiklikler korozyon olarak adlandırılır. Korozyonun meydana geldiği ortamlar genel olarak nemli hava, tuzlu su, asidik veya bazik ortam, alkalın ortam ve kirli havadır. Korozyonun sebep olduğu malzeme ve iş gücü kaybına çözüm olarak yüzyıllardır uygulanan yöntemlerin en bilineni metal kaplama işlemidir (Kakani ve Kakani, 2004; Deepak vd., 2019).

Metal kaplama uygulamalarında fiziksel, mekanik ve kimyasal yöntemler kullanılabilir. Endüstriyel anlamda en çok kullanılan kaplama çeşitleri galvaniz kaplama (Ageeva vd., 2020), çinko kaplama (Polyavok vd., 2020), krom kaplama (Podgornik vd., 2018; Öz vd., 2019), fosfat kaplama (Kollias vd., 2019), kalay kaplama (Cao vd., 2020) veya alüminyum (Guo vd., 2020) kaplamadır. Son yıllarda korozyon dayanımı için çinko lamelli kaplamalar da kullanılmaya başlanmıştır (Vu, 2012; Nardeli vd., 2020).

Fosfat kaplama, bir metal ile bir kimyasal çözeltinin reaksiyonu sonucu oluşur. Fosfat kaplamanın kompozisyonu, uygulama metoduna (sprey veya daldırma), banyonun karıştırılma derecesine, banyo kimyasal çeşitlerine, hızlandırıcının kalitesine ve diğer metal iyonlarının varlığına bağlı olarak değişmektedir (Ulubayrak, 2021). Demir fosfat, çinko fosfat ve mangan fosfat kullanılarak üç farklı şekilde uygulanabilir (Berk, 2004).

Fosfat kaplamanın uygulama alanları arasında boya ve polimer film kaplamalarla birlikte uygulanarak metal parçaların korozyondan korunması bulunmaktadır. Ayrıca, tel çekme, boru çekme, derin çekme gibi soğuk şekillendirme işlemlerinde koruyucu yağ ve vakslarla birlikte metallerin korozyondan korunması, yapışmayı arttırmak için kauçuk sektöründe kullanılması ve son işlem uygulanmadan korozyon koruması gibi işlemler de fosfat kaplamanın uygulama alanları arasında yer almaktadır. Fosfat kaplamanın kullanım amaçları ise, fosfat sonrasında uygulanacak olan boya ve organik tabakanın homojen olarak yayılmasını sağlamak için yüzeyi temizleyerek yüzeyi boyaya hazırlamak, metalin korozyon direncini arttırmak, alüminyum ve galvaniz gibi yapışma problemi olan yüzeylerde boyanın daha iyi tutunmasını sağlamak, boyanın darbe direncini ve esnekliğini arttırmak ve suyun metal yüzeyine difüzyonunu engellemek olarak sıralanabilir (Zimmermann vd., 2003).

Fosfat kaplama süreci aktivasyon, fosfat kaplama, durulama ve kürlenme basamaklarını içermektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Fosfat Kaplama Süreci

Fosfat kaplama işlemi öncesi uygulanan aktivasyonun amacı; kaplama sırasında korozyon direncini ve yapışma özelliklerini artıracak ince kristal yapıyı elde etmek için metali aktive etmektir. Aktivasyon basamağında durulama kullanılmıyorsa, fosfat kristal boyutu büyük olabilir ve bu durum fosfat kaplama yapısında boşluk oluşumuna neden olur. Büyük boşlukların korozyon oluşumuna sebep olmasından dolayı, kristal yapının her zaman 10 µm'den daha düşük olması tercih edilir. (Zimmermann vd., 2003).

Yapılan bu çalışmada, çinko lamelli kaplama işleminde alternatif yüzey temizliği olarak fosfat kaplamanın kullanılabilirliği ve fosfat kaplamanın aşamalarından biri olan aktivasyon basamağında, aktivasyon süresi ve pH'ının yanı sıra fosfat kaplama süresinin de kaplama kalitesi üzerine etkisi incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Fosfat kaplama sırasındaki aktivasyon işleminde süreç parametresi olarak ortamın pH değeri ve aktivasyon süresi değiştirilmiştir. 1500 L su doldurulan banyoya aktifleştirici olarak 4 kg GARDOLENE V 6513 ilave edilip, banyo hacmi suyla 2000 L'ye tamamlanmıştır. Aktivasyon pH değerinin kaplama kalitesine etkisini belirlemek için, aktivasyon süresi 60 saniye olarak sabit tutulmuş ve pH 8,50, 8,75, 9,00, 9,25, 9,50 ve 10,00 olarak değiştirilmiştir (Tablo 1).

Aktivasyon süresinin kaplama kalitesine etkisini belirlemek için ise, yapılan çalışmalarda aktivasyon banyosunun pH değeri 9,00 olarak sabit tutulurken aktivasyon süresi 15, 30, 45 ve 60 s olarak değiştirilmiştir (Tablo 2).

Tablo 1. Aktivasyon pH'ı denemeleri çalışma parametreleri

	Deneme I	Deneme II	Deneme III	Deneme IV	Deneme V	Deneme VI
Aktivasyon pH	8,50	8,75	9,00	9,25	9,50	10,00
Aktivasyon süresi (s)	60	60	60	60	60	60
Kaplama Süresi (dk)	8	8	8	8	8	8

Tablo 2. Aktivasyon süresi denemeleri çalışma parametreleri

	Deneme I	Deneme II	Deneme III	Deneme IV
Aktivasyon süresi (s)	15	30	45	60
Aktivasyon pH	9,00	9,00	9,00	9,00
Kaplama Süresi (dk)	8	8	8	8

Yapılan deneysel çalışmalar sırasında fosfat banyosunun sahip olması gereken kimyasal özelliklerin teorik değerleri ve deneyler sırasında ölçülen bu değerler Tablo 3'te verilmiştir. Fosfat kaplama süresinin kaplama kalitesine etkisini belirlemek için yapılan çalışmalarda ise kaplama süresi 3, 5, 8 ve 10 dk olarak değiştirilmiştir (Tablo 4).

Değiştirilen parametrelerin kaplama kalitesi üzerine etkisi elde edilen örneklerin yüzey görüntülerinin taramalı elektron mikroskobu (SEM) (HITACHI, TM-1000) ile alınmasıyla incelenmiştir. Örneklere uygulanan taramalı elektron mikroskobu analizlerinde, 1000x-3000x büyütme oranları kullanılmıştır. Ayrıca örneklerin kaplama kalınlıkları endüstriyel kaplama kalınlığı ölçüm cihazı (ELCOMETER 456) ile ölçülmüştür.

Tablo 3. Fosfat banyosu parametreleri

	Teorik Değer	Ölçüm
Toplam Asit	17-25	22,2
Çinko Oranı (g/L)	0,6-1,1	1,01
Nikel Oranı (g/L)	0,6-1,2	0,98

Tablo 4. Fosfat kaplama süresi çalışma parametreleri

	Deneme I	Deneme II	Deneme III	Deneme IV
Kaplama Süresi (dk)	3	5	8	10
Aktivasyon süresi (s)	60	60	60	60
Aktivasyon pH	9,00	9,00	9,00	9,00

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

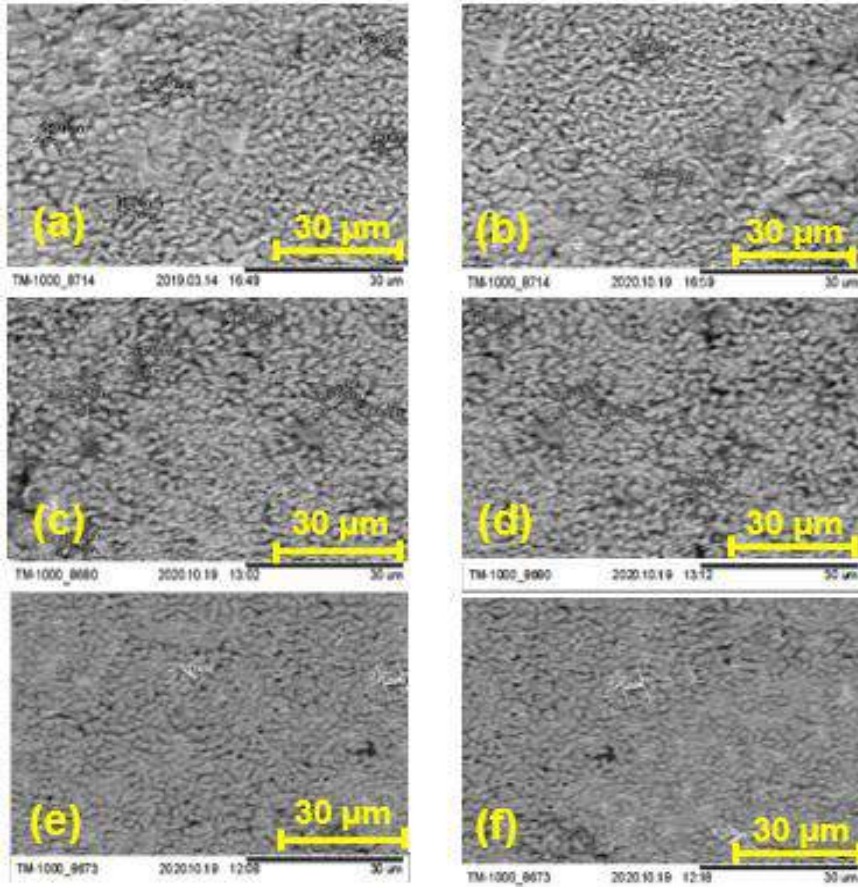
Fosfat kaplama aşamalarından biri olan aktivasyon işleminde, aktivasyon banyosu pH değerinin değiştirilmesiyle elde edilen metal örneklerin yüzey görüntüleri Şekil 2'de verilmiştir. pH değerinin 8,75 ve 9,50 arasında olduğu durumda aktivasyon işleminin fosfat kaplama öncesi parça yüzeyini aktive ettiği belirlenmiştir.

Taramalı Elektron mikroskobu ile elde edilen görüntüleri göre aktivasyon ortamının pH değeri azaldıkça, fosfat kristal oluşumu kötü yönde etkilenmiş ve fosfat kaplama yüzeyinde lekeli bir görüntü elde edilmiştir. Yüksek pH değerlerinde ise metal yüzeyinde homojen olmayan fosfat tabakası oluştuğu görülmüştür. En uygun pH değerinin 9,00 ve 9,25 olduğu belirlenmiş ve aktivasyon süresinin etkisinin belirlenmesi için gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda pH değeri 9,00 olarak sabit tutulmuştur.

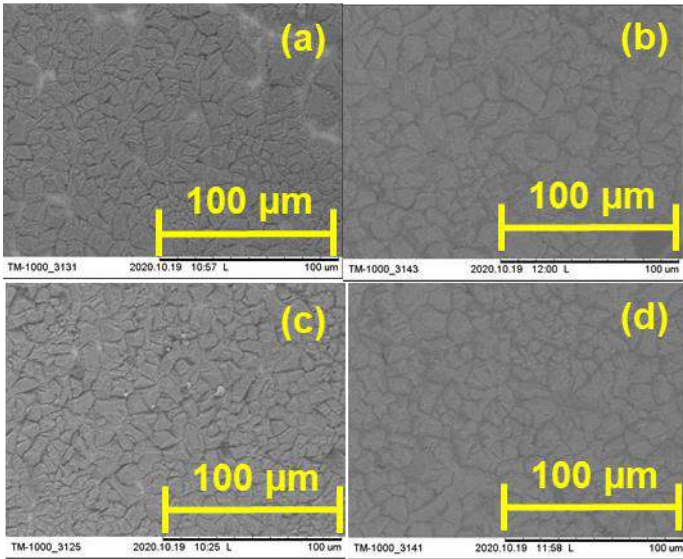
Aktivasyon süresinin kaplama kalitesi üzerine etkisinin belirlenmesi için yapılan çalışmalardan elde edilen SEM görüntüleri Şekil 3'te verilmiştir.

15 s aktivasyon uygulanan parçalarda kristaller arası boşluğun oldukça fazla olduğu görülmektedir. 30 s aktive edilmiş yüzeyde homojen yüzey dağılımının olmadığı ve aktive edilemeyen bölgenin lekeli bir görünüme sahip olduğu görülmektedir (Şekil 3(b)). Aktivasyon süresinin düşük olduğu denemelerde parça yüzeyinin yeterince aktive olmadığı ve fosfat kaplama tabakasının güçlü tutunma sağlamayacağı sonucuna varılmıştır. Elde edilen SEM görüntülerine göre, aktivasyon maruziyeti için en uygun pH değerinin 9,00 ve aktivasyon süresinin 60 s olduğu belirlenmiştir.

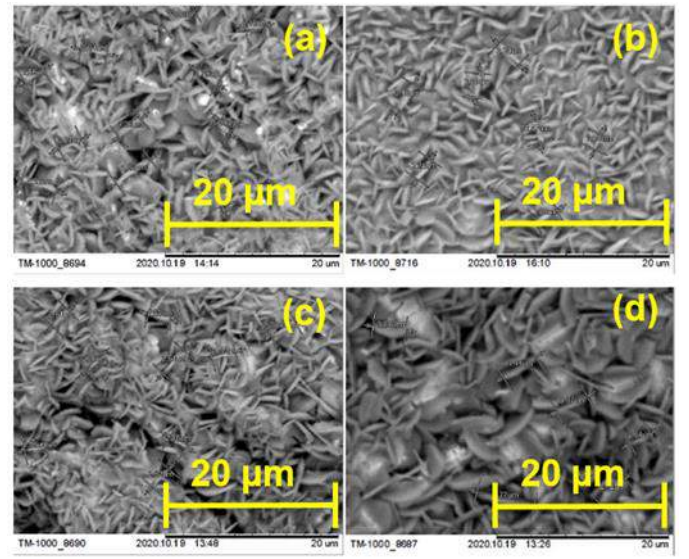
Fosfat kaplama süresinin kaplama kalitesi üzerine etkisinin belirlenmesi için yapılan çalışmalarda pH 9,00 olan aktivasyon banyosunda 60 s yüzeyi aktive edilmiş parçalar 3, 5, 8 ve 10 dk fosfat banyosunda tutulmuştur (Şekil 4).



Şekil 2. Farklı pH değerlerinde elde edilen metal yüzeylerin SEM görüntüleri
(a) pH 8,5 (b) pH 8,75 (c) pH 9,00 (d) pH 9,25 (e) pH 9,50 (f) pH 10,00



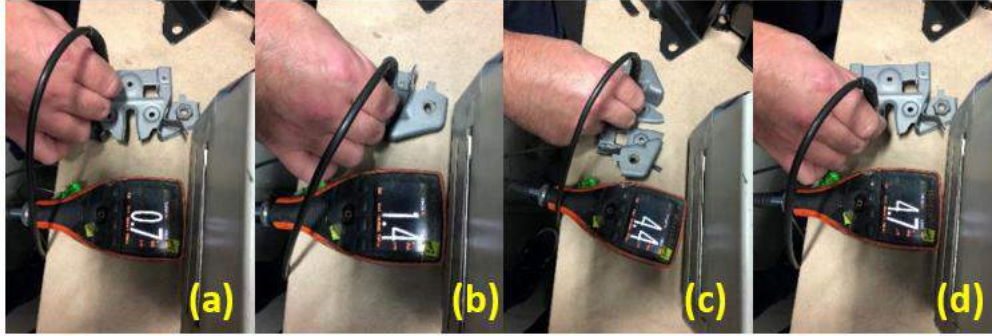
Şekil 3. Farklı aktivasyon süresi değerlerinde elde edilen metal yüzeylerin SEM görüntüleri
(a) 15 s (b) 30 s (c) 45 s (d) 60 s



Şekil 4. Farklı fosfat kaplama sürelerinde elde edilen metal yüzeylerin SEM görüntüleri (a) 3 dk (b) 5 dk (c) 8 dk (d) 10 dk

Fosfat kaplama süresinin her seviyesinde aktifleşmiş yüzeye tutunmanın gerçekleştiği görülmüş fakat düşük

sürelerde fosfat kaplanan parçaların kaplama kalınlığının daha ince olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 5 ve Tablo 5).



Şekil 5. Kaplama kalınlıkları (a) 3 dk (b) 5 dk (c) 8 dk ve (d)10 dk

Tablo 5. Fosfat kaplama süresinin kaplama kalınlıklarına etkisi

	Deneme I	Deneme II	Deneme III	Deneme IV
Kaplama Süresi (dk)	3	5	8	10
Kaplama kalınlıkları (mm)	0,7	1,4	4,4	4,7

4. Sonuç

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen örneklerin yüzey görüntüleri incelendiğinde, metal parçalara fosfat kaplama işlemi öncesinde uygulanan aktivasyonun pH değeri düşük iken kristal yapının kötü yönde etkilendiği ve lekeli bir fosfat tabakası elde edildiği belirlenmiştir. Aynı zamanda yüksek pH değerlerinde metalin kaplama öncesi aktifleştiği fakat homojen dağılımı olmayan bir fosfat kristal yapısı elde edildiği görülmüştür.

Doğru pH aralığında aktivasyon süresi kısaldığında (15 s ve 30 s) kristaller arası boşluğun fazla olduğu, dolayısıyla fosfat kaplamanın metal yüzeye iyi seviyede tutunmayacağı gözlemlenmiştir. Fosfat kaplama süresinin kaplama kalitesi üzerine etkisinin belirlenmesi için yapılan çalışmalarda, kaplama süresinin her seviyesinde aktifleşmiş yüzeye tutunmanın gerçekleştiği görülmüş fakat düşük sürelerde fosfat kaplanan parçaların kaplama kalınlığının daha ince olduğu belirlenmiştir. Deneysel sonuçlara göre en iyi kaplama özellikleri aktivasyon banyosu pH değerinin 9,00, aktivasyon süresinin 60 s ve fosfat kaplama süresinin ise 10 dk olduğu koşullarda elde edilmiştir.

Kaynakça

Ageeva, E., Latipov, R., & Altukhov, A. (2020). Dimensional characteristics of wear-resistant electroerosive titanium-tungsten-cobalt powders for galvanic coatings. *Materials Today: Proceedings*.

Berk, V. (2004) Yüzey işlem teknolojileri 1.

Campbell, F. C. (Ed.). (2008). Elements of metallurgy and engineering alloys. *ASM International*.

Cao, X., He, W., Liao, B., He, G., Jiao, Y., Huang, D., & Wang, S. (2020). Effect of TiN/Ti coating combined with laser

shock peening pre-treatment on the fatigue strength of Ti-6Al-4V titanium alloy. *Surface and Coatings Technology*, 403, 126393.

Guo, F., Jiang, W., Tang, G., Xie, Z., Dai, H., Wang, E., ... & Liu, L. (2020). Enhancing anti-wear and anti-corrosion performance of cold spraying aluminum coating by high current pulsed electron beam irradiation. *Vacuum*, 182, 109772.

Kollias, K., Mylona, E., Adam, K., Chrysochoou, M., Papassiopi, N., & Xenidis, A. (2019). Characterization of phosphate coating formed on pyrite surface to prevent oxidation. *Applied Geochemistry*, 110, 104435.

Deepak, J. R., Raja, V. B., & Kaliaraj, G. S. (2019). Mechanical and corrosion behavior of Cu, Cr, Ni and Zn electroplating on corten A588 steel for scope for betterment in ambient construction applications. *Results in Physics*, 14, 102437.

Kakani, S., & Kakani, A. (2004). *Material Science*. sl: *New Age International Ltd*.

Nardeli, J. V., Fugivara, C. S., Taryba, M., Montemor, M. F., & Benedetti, A. V. (2020). Biobased self-healing polyurethane coating with Zn micro-flakes for corrosion protection of AA7475. *Chemical Engineering Journal*, 404, 126478.

Öz, A., Demir, A., Sağıroğlu, S., & Yakut, A. K. (2019). Plazma Sprey Tekniği ile Cr2O3 Kaplanmış Fren Diskinin Frenleme Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 394-403.

Podgornik, B., Massler, O., Kafexhiu, F., & Sedlacek, M. (2018). Crack density and tribological performance of hard-chrome coatings. *Tribology International*, 121, 333-340.

Polyakov, N. A., Botryakova, I. G., Glukhov, V. G., Red'kina, G. V., & Kuznetsov, Y. I. (2020). Formation and anticorrosion properties of superhydrophobic zinc coatings on steel. *Chemical Engineering Journal*, 127775.

- Sinha, M., & Tyagi, R. K. (2020). Strength and corrosion analysis in alloy steel and E-glass composite wear ring in automotive engine cooling water pump. *Materials Today: Proceedings*, 21, 1474-1478.
- Ulubayrak, S. (2021). Metal Parçalar Üzerine Fosfat ve Su Bazlı Lamelli Kaplama Araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Anadolu Üniversitesi Ortak Programı, Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Zimmermann, D., Munoz, A. G., Schultze, J. W. (2003). *Microscopic local elements in the phosphating process*. *Electrochimica acta*, 48(20-22), 3267-3277.
- Vu, T.N. (2012). *Selective dissolution from Zn-Al alloy coatings on steel* (Doctoral dissertation, Université Pierre et Marie Curie-Paris VI).



İzmir İlinde Elektrikli Kara Araçları için Güneş Enerjisi Destekli Bir Şarj İstasyonunun Tasarlanması

Atahan Çobanoğlu¹, Gökhan Demirkıran^{2*}, Mustafa Güneş³

¹Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü, İzmir, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6789-4051), atahancobanoglu@gmail.com

²Yaşar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0076-6036), gokhan.demirkiran@yasar.edu.tr

³Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü, İzmir, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7042-3605), mustafa.gunes@ege.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 7 Ağustos 2020 ve Kabul Tarihi 31 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.777874)

ATIF/REFERENCE: Çobanoğlu, A., Demirkıran, G., & Güneş, M. (2021). İzmir İlinde Elektrikli Kara Araçları için Güneş Enerjisi Destekli Bir Şarj İstasyonunun Tasarlanması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 635-648.

Öz

Ulaşım alanındaki enerji ihtiyacı gün geçtikçe artmaktadır. Ulaşım sektörünün enerji kullanımındaki payı görece fazla olduğu için son yıllarda elektrikli araç ve şarj istasyonlarına olan yatırımlar ivme kazanmıştır. Bu bağlamda, şarj istasyonlarının güneş enerjisi gibi yenilenebilir kaynaklardan enerjilerini üreterek şebekeye olan yükü ve araç dolum maliyetlerini azaltması beklenmektedir. Bu çalışmada, İzmir ili için alışveriş merkezlerinde geçirilen süreler, mevcut elektrikli araç sayısı ve şarj istasyonu sayısı dikkate alınarak fotovoltaik panel ile desteklenmiş şebekeye bağlı bir elektrikli araç şarj istasyonunun yenilenebilir enerji, talep ve güç dengesi altsistemleri kullanılarak simülasyon modeli MATLAB\Simulink ortamında oluşturulmuştur. Elektrikli aracın geliş zamanı, istasyonda ne kadar kalacağı ve bataryasının doluluk oranı literatür ve gerçek verilere uygun olarak rassal değişken olarak modellenmiştir. Farklı boyutlandırılmış güneş enerjisi destekli elektrik araç şarj istasyonlarının önümüzdeki 25 seneyi kapsayacak şekilde maliyet analizi yapılmıştır. Bataryaların kullanılmadığı durumda sistemin kendini 5 seneden az bir sürede amorti ettiği, batarya kullanılan sistemlerin ise kendini amorti edemediği ancak şebekeye binen yükün azaltılması yoluyla şebeke güvenliğinin sağlanmasına bataryasız sistemlere göre daha yüksek katkıda bulunduğu anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli Araç, Güneş Enerjisi, Fotovoltaik, Şarj İstasyonu.

Design of a Solar-Assisted Charging Station for Electric Vehicles in İzmir

Abstract

The energy demand in the field of transportation is increasing day by day. Investments in electric vehicles and charging stations have gained momentum in recent years as the transportation sector has a relatively large share in energy use. In this context, charging stations are expected to generate their energy from renewable sources such as solar energy and reduce the load on the grid and vehicle charging costs. In this study, a simulation model of a charging station connected to the grid supported by photovoltaic panel is created by MATLAB\Simulink based on the times spent in shopping centers, the number of vehicles and charging stations available for İzmir. This model consists of renewable (solar) energy, demand and power balance subsystems. The arrival time of the electric vehicle, the duration which it will stay at the station and the battery's state of charge measure are all treated as random processes. The cost analysis of different sized solar-assisted electric vehicle charge stations has been carried out for 25 years. Additionally, the effect on reducing the excessive load on the grid is investigated. It has been found that the system pays for itself in less than 5 years when the batteries are not used, and the systems using batteries cannot pay for itself, but they contribute more to the security of the network by reducing the load on the network compared to the systems without batteries.

Keywords: Electric Vehicle, Photovoltaic, Solar Energy, Charging Station.

* Sorumlu Yazar: gokhan.demirkiran@yasar.edu.tr

1. Giriş

2004 yılından 2018 yılına kadar Türkiye'deki enerji tüketiminin ulaştırma sektöründeki payı %20'den yaklaşık %26'ya yükselmiştir (EİGM, 2020). Ulaşım sektöründeki enerjinin büyük bir bölümünün fosil yakıt kullanan araçların motorları (içten yanmalı motorları) tarafından harcandığı gözönüne alındığında, ulaşım sektörünün elektrifikasyonu yani Elektrikli Araçların (EA'ların) yaygınlaştırılması, kentlerdeki hava kirliliğini azaltmak için etkili bir yol olarak görülmektedir (Saygın ve ark., 2019a). EA'lar özellikle devletlerin ve otomobil üreticilerinin teşviğiyle giderek yaygınlaşmakta ve hızlı şarj istasyonlarının da geliştirilmesi ile birlikte kullanılabilirliği giderek artmaktadır. Ancak, hızlı şarj istasyonlarının kısa aralıklar ile yüksek güç talebi şebeke voltajında dengesizliklere yol açmaktadır (Shaukat ve ark., 2018). Bu bağlamda, EA şarj istasyonları tarafından şebekeye bindirilen yükü azaltacak çözümlere ihtiyaç vardır (Peng, Zou, & Lian, 2017).

Bu çözümler özellikle EA şarj istasyonları tarafından şebekeye aksettirilen tepe yüklerin azaltılması amacıyla, iş yerleri veya alışveriş merkezleri (AVM'ler) gibi toplu yerlerde, EA'ların şarj sıralarını belirleme, takvimleme gibi çalışmalar üzerine yoğunlaşmıştır (Liu ve ark., 2015; Zheng ve ark., 2019). Örneğin, park yerlerinin şehir içinde nasıl dağıtılması gerektiği ve EA'ların şarj/deşarjlarının nasıl takvimlenmesi gerektiği, şebeke en az etkilenecek şekilde bir eniyeme modeli olarak sunulabilir (Mohammadi Landi, Mohammadi, and Rastegar 2018). Yenilenebilir enerji kaynaklarının rassal doğasına uygun EA şarj takvimlemesinin de şebeke tepe yüklerini azaltıcı etkisi vardır (Jiang ve ark., 2017). Enerji kaynaklarının yönetimi haricinde, insan psikolojisine dayalı olarak EA sahiplerinin katıldığı bir dinamik fiyatlandırma modeli ile de, şebekeye binen yük dengelenebilir (Dong ve ark., 2018). Ayrıca, EA'ların prize takılı oldukları süre boyunca şebekenin ihtiyaç duyduğu anda potansiyel bir enerji kaynağı olarak kullanılması teknolojileri (V2G: Vehicle-to-Grid) ve bunların işletilmesi ile ilgili çalışmalar, şebekedeki voltaj dengesizliklerini azaltabilme potansiyeline sahiptir (Mwasilu ve ark., 2014) (Jian ve ark., 2015). Örneğin, V2G teknolojisi tepe talep taşıma ve yük kaydırma gibi stratejilere olanak sağlamaktadır (Liang ve ark., 2019).

Yukarıda bahsedilen çalışmalar, bir akıllı şebeke entegrasyonuna, akıllı algoritmik yaklaşımlara ve güçlü iletişim teknolojilerine ihtiyaç duymaktadır (Mwasilu ve ark., 2014) (Tuballa & Abundo, 2016). Ancak, akıllı şebekeler henüz geliştirilme aşamasında olduğundan, bu çalışmaların iş modellerine dönüştürülmesi en azından Türkiye'de şu anda mümkün görünmemektedir. Ayrıca, çoğu çalışma EA şarj istasyonlarının yenilenebilir enerji ile desteklenmesi durumlarını Amerika ve Avrupa gibi şehirleşmenin daha yatay olduğu, dolayısıyla müstakil evlerin ve garajların yeterli çoklukta olduğu yerleri dikkate almışlardır. Türkiye'de ise Amerika ve Avrupa kıtasının geneline göre müstakil ev sayısı oldukça kısıtlıdır (Saygın ve ark. 2019b). Dolayısıyla, yeme-içme yerlerinin yakınlarında, AVM'lerde şarj istasyonlarının kurulmasının teşvik edilmesi Türkiye'ye özgü öncelik verilecek çözümlerin başında gelmektedir (Resmî Gazete, 2018). Bu bağlamda, Türkiye'de ev dışında kurulacak şarj altyapılarına, bunların işletilmesine ve yenilenebilir enerji ile desteklenmesine yönelik daha fazla çalışmaya gereksinim duyulmaktadır.

Bu bilgilerin ışığında bu çalışmanın amacı, gelecekte ülkemizde de yaygın olarak kullanılacağı düşünülen elektrikli

kara araçları için örnek oluşturabilecek güneş enerjisi destekli bir şarj istasyonunun tasarımı yapmak ve bu tasarımın farklı senaryolar için talep ve maliyet analizleri ile şebeke güvenliğine etkisini incelemektir. Bu doğrultuda İzmir ili Karşıyaka ilçesindeki bir AVM'ye kurulduğu varsayılan fotovoltaik (FV) enerji destekli bir EA şarj istasyonunun önümüzdeki 25 sene boyunca şebekeye binen yükün azaltılmasındaki etkileri ve böyle bir yerin işletilmesinin yatırım anlamında maliyet analizi benzetim yoluyla yapılmıştır. 25 yıllık benzetim sonucunda, kurulması planlanan sistem ile ilgili amorti süreleri, kazanç ve şebekeye binen yükün azaltılmasına olan katkısı rapor edilmiştir. Yapılan benzetim çalışmasının gerçeği olabildiğince yansıtılması için üzerinde durulmuş önemli hususlar ile kabuller şunlardır:

Dünyadaki EA sayısındaki artış oranına ve geçmiş 10 senelik (2007-2016 yılları arasında) fotovoltaik enerji potansiyeline uygun olarak, kurulduğundan sonraki 25 sene boyunca sistemin çalışmasının benzetimi yapılmıştır. Benzetimin çok yönlü olarak olabildiğince gerçeği yansıtılması için ayrıca şu değişkenler rassal olarak belirlenmiş ve uygun şekilde benzetime entegre edilmiştir: i) EA geliş sıklıkları Google Maps platformundan (Google, 2009), AVM'nin günlük ve saatlik popülerite grafiğine uygun olarak ve EA'ların seneler içindeki yaygınlığının artışı (IEA, 2018) çalışması baz alınarak üretilmiştir; ii) AVM'de kalış süreleri (Konyalıoğlu 2014)'teki çalışmaya uygun olarak üretilmiştir; iii) EA'ların günlük olarak harcadığı enerji (Wang et al. 2019) çalışmasına uygun olarak belirlenmiştir. Sistemde hesaplamalar için kullanılması planlanan elektrik alışı ve satış fiyatı tek zamanlı olarak güncel haliyle Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) sitesinden elde edilmiştir (EPDK, 2019). Fakat satış kurallarının ve fiyatının belirlenmesinde ise 'Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği' (Resmî Gazete, 2019a) ve "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun ile Elektrik Piyasası Kanunu" (Resmî Gazete, 2019b) kullanılmıştır.

Çalışmada, Bölüm 2'de adım adım sistemin simülasyon modelinin tüm bileşenleri oluşturulmuş olup, Bölüm 3'te ise simülasyon modeli koşut olarak maliyet analizi ve şebekeye binen yükün analizi yapılmıştır. Bölüm 4'te bulgular özetlenmiş ve öneriler sunulmuştur.

2. Sistem Bileşenlerinin Benzetim Modelinin Oluşturulması

Ele aldığımız benzetim sistemi, FV enerji, talep ve güç dengesi olmak üzere üç altsistemden oluşmaktadır. Sistemin girdileri, anlık FV enerji ve anlık talep, çıktısı ise güç dengesinden çıkan rapordur. Bu rapor, sistemin enerji kullanımını ile ilgili bilgileri içermektedir. Sistem şu şekilde kurgulanmıştır:

- FV destekli EA şarj istasyonuna FV enerji güne ve günün saatine bağlı olarak rassal olarak gelmektedir.
- AVM'ye güne ve günün saatine bağlı ve rassal olarak EA gelmektedir.
- Şehir içindeki EA sayısı Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency [IEA], 2018) raporuna göre artmaktadır. Rassal olarak gelen araçların sayısı da bununla orantılı olarak artmaktadır.
- Bu çalışmanın yapıldığı tarihte İzmir'de yaklaşık 100 EA bulunmaktadır ve Şubat 2019 ayı içerisinde 700 kWh'lik enerji talep edilmiştir. Bu oranın, AVM içerisindeki EA popülasyonunda

da korunduğu varsayılmıştır. Ancak, yazarlar olarak AVM içerisinde kurulmuş olan şarj istasyonlarının, şehir içindeki şarj istasyonlarına göre daha fazla müşteri çekeceğini düşünmekteyiz. Çünkü, menzil kaygısı sebebiyle AVM’de bulunan süre içerisinde EA sahipleri, bataryaları boş olmasa dahi şarj istasyonuna park etmek isteyebilir. Bu durumda, bu makalede sistem ile ilgili öngörülen kazanç, sistemin elde edebileceği minimum kazanç olarak değerlendirilebilir.

2.1. Fotovoltaik Girdi

FV güç verisini elde etmek için Avrupa Komisyonu tarafından kurulan FV Coğrafi Bilgi Sistemi (PhotoVoltaic Geographical Information System)’nden (PVGIS) yararlanılmıştır (European Commission, 2019). Çevrimiçi bir web uygulaması olan PVGIS güneş ışınımı haritaları ve hassas FV performans verileri sağlamaktadır. Verilerin oluşturulması ile ilgili bilimsel ve hesapsal prosedür web sitesinde şeffaf bir şekilde sunulmaktadır. Bununla birlikte, bu sistem çok sayıda çıktıya sahip bir araştırma projesidir ve ortak araştırma merkezi içindeki ve dışındaki diğer birçok projeye verilerle katkıda bulunmuştur (European Commission, 2019).

Saat-saat 1 kWp (kiloWatt-peak) kurulu güç için FV güç üretim verisi 2007-2016 yılları arasında İzmir ili Karşıyaka ilçesindeki bir AVM konumu için PVGIS web sitesinden alınmıştır. Bu yılların aritmetik ortalaması alınarak 1 yıllık tek bir ortalama üretim verisi oluşturulmuş ve referans üretim verisi olarak kabul edilmiştir. 1 kWp’lik referans üretim verisi Şekil 1.a’da gösterilmiştir. Boyutlandırma çalışmaları kapsamında, benzetim sırasında bu referans verinin katları kullanılacaktır (Şekil 1.b). Önümüzdeki 25 sene boyunca üretim gücünün bu şekilde senelik olarak tekrarlanacağı kabul edilmiştir.

Ülkemizde bulunan ve satılmaya devam eden EA’ların fiyat uygunluğu ve batarya kapasiteleri, AVM’lerde çoğunlukla geçirilen sürenin genelde 1-3 saat olması (Konyalıoğlu, 2014) göz önüne alınarak, her araca ve fiyat-performans olarak uygunluğu da ön planda olduğu için oluşturulacak sistemde şarj istasyonunun 11 kW olmasına karar verilmiştir (Şarj istasyonları 22 kW veya 11 kW olmaktadır). 10 kW’lık bir InfiniSolar hibrit evirici, 11 kW’lık şarj istasyonunu limitleri dahilinde karşılayabilmektedir. (InfiniSolar, 2019). 2 veya 3 tane hibrit evirici uygun şekilde

bağlanıp, daha fazla evirme gücü elde edilebilir. Ancak, bu sistem maliyetlerini arttıracaktır.

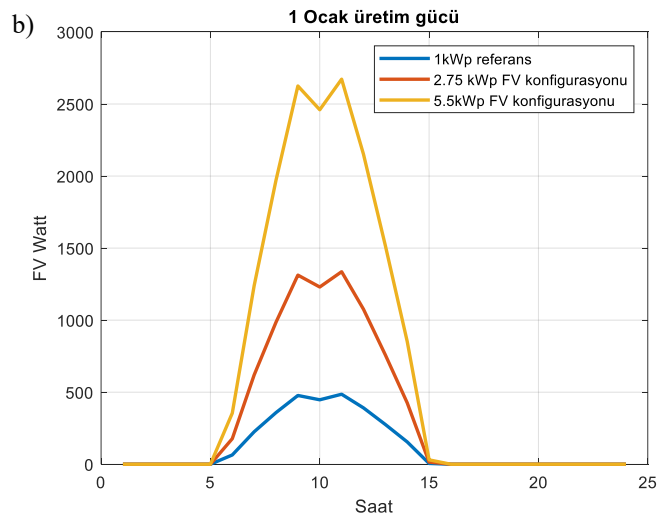
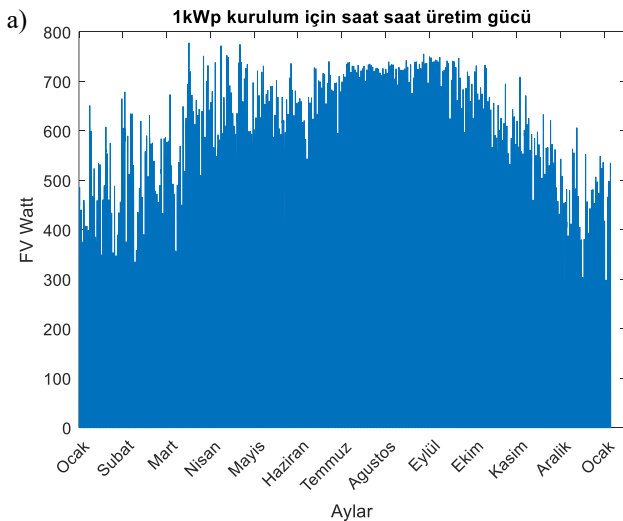
Seçilen 10 kW’lık eviriciye bağlanabilecek FV güçleri Tablo 1’de gösterilmiştir. Eviriciye toplamda 6 tane farklı boyutta FV panel bağlanabilmektedir. Sistem için en ekonomik panel boyutu denerek bulunacaktır. Seçilen FV boyutunun saatlik olarak ürettiği güç, PVGIS’in 10 yıllık güç verisinden ortalama olarak elde edilen 1 kWp’lik ortalama üretim verisi boyut ile çarpılarak elde edilmektedir (Örneğin Şekil 1.b).

Tablo 1. InfiniSolar 10 kW’lık hibrit evirici (InfiniSolar, 2019) için önerilen panel konfigürasyonu.

Solar Panel Teknik özellikleri. (referans)	SOLAR GİRİŞ 1	SOLAR GİRİŞ 2	Panel Adeti	Toplam Giriş Gücü
	(Min seri bağlı panel sayısı: 11 adet; Max seri bağlı panel sayısı: 18 adet)			
- 250Wp - Vmp: 36.7Vdc - Imp: 6.818A - Voc: 44Vdc - Isc: 7.636A - Hücre sayısı: 72	11 adet seri	x	11 adet	2750W
	x	11 adet seri	11 adet	2750W
	11 adet seri	11 adet seri	22 adet	5500W
	11 adet seri, 2 paralel	x	22 adet	5500W
	x	11 adet seri, 2 paralel	22 adet	5500W
	18 adet seri	18 adet seri	36 adet	9000W
	14 adet seri, 2 paralel	14 adet seri	42 adet	10500W
	18 adet seri, 2 paralel	18 adet seri	54 adet	13500W
	15 adet seri, 2 paralel	15 adet seri, 2 paralel	60 adet	15000W

2.2 Talep Altsisteminin Modellenmesi

EA’lardan gelen güç talebini oluşturan üç tane rassal bileşen: i) Talebin günün hangi zamanında geldiği (geliş zamanı), ii) EA’nın şarj istasyonunda ne kadar kalacağı, iii) EA bataryasının istasyona geldiğindeki doluluk oranı olarak belirlenmiştir. Ele aldığımız sistem bir AVM içerisinde olduğu için, araç sahiplerinin asıl amacının AVM’de vakit geçirmek olduğu, dolayısıyla talep miktarını AVM’de geçirdikleri sürenin belirlediği kabul edilmiştir. Eğer bu şarj istasyonu AVM dışında bir lokasyon, örneğin ofis otoparkındaki EA şarj istasyonu olsaydı, talep bileşenlerinin farklı şekilde ele alınması gerekirdi.



Şekil 1. a) 1 kWp’lik kurulum için saatlik 1 yıllık ortalama üretim verisi. b) Farklı FV boyutların güç üretiminin 1 kWp’lik ortalama üretim verisinden elde edilişi.

2.2.1 Dünyadaki EA Sayısının Tahmini

EA'ların sayılarının giderek artması beklenmektedir (IEA, 2018). Dünyadaki EA sayısının nasıl değişeceği ile ilgili ilgili iki tane farklı senaryo konuşulmaktadır: 1) Yeni Politikalar senaryosu, 2) EV30@30 senaryosu.

Yeni Politikalar Senaryosu, Uluslararası Enerji Ajansı'nın Dünya Enerji Görünümü'nün merkezi senaryosudur (IEA, 2018). Senaryo, dünyadaki hükümetlerin daha önce uygulamaya koydukları politikaları ve önlemleri, ayrıca resmi hedeflerde veya planlarda ifade edilen politikaların olası etkilerini içermektedir. EV30@30 senaryosunda ise, temiz enerji ile ilgili uluslararası kuruluşun EA girişimi içinde yer alan ülkeler tarafından taahhüt edilen hedef; kişisel otomobiller, otobüsler ve kamyonlar için en az %30'luk kısmın EA olması konusunda bir pazar payı öngörmektedir. EA sayısının, Şekil 2.a ve 2.b'de gösterilen yeni politikalar ve EV30@30 senaryolarına göre düzenli bir şekilde artacağı öngörülmektedir (IEA, 2018).

Bu iki senaryoya göre, EA sayısındaki artışı model içerisine entegre edebilmek amacıyla, Denklem (1) ve (2) de gösterildiği üzere iki fonksiyon MATLAB'in fonksiyon yaklaşırma araçları kullanılarak türetilmiştir (Şekil 2.c,d):

$$EA_{EV30@30}^{Dünya}(t) = 0,01931t^2 + 446,8t + 5,6 * 10^6 \quad (1)$$

$$EA_{yenipolitikalar}^{Dünya}(t) = 0,01038t^2 + 290,4t + 5,6 * 10^6 \quad (2)$$

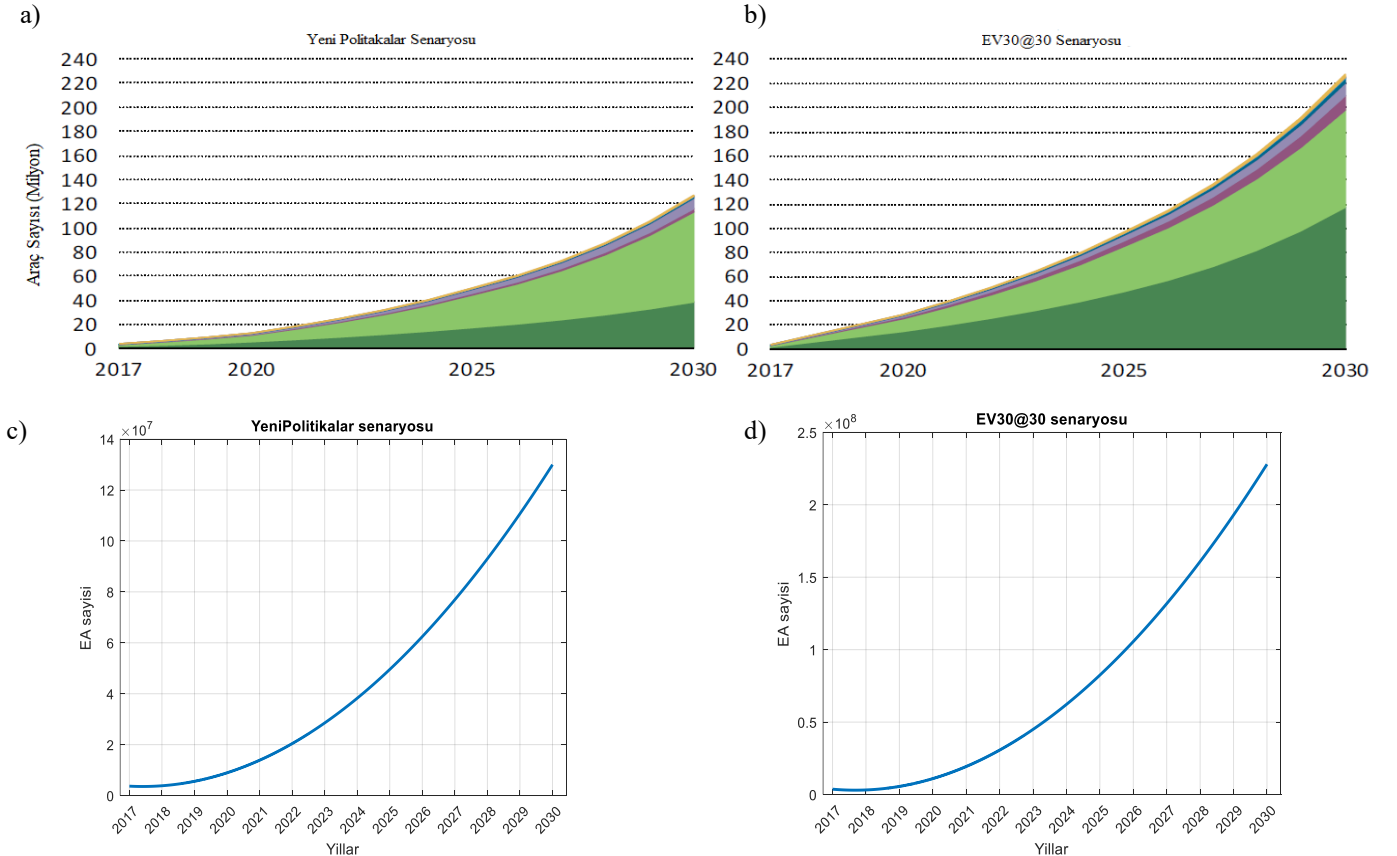
$$t \in \{0, 1, 2, \dots, 219144\} \quad (3)$$

Denklem (3)'te $t = 0$ değeri 01.01.2019 tarihinde saat 00:00'a , $t = 1$ değeri 01.01.2019 tarihinde saat 01:00'a karşılık

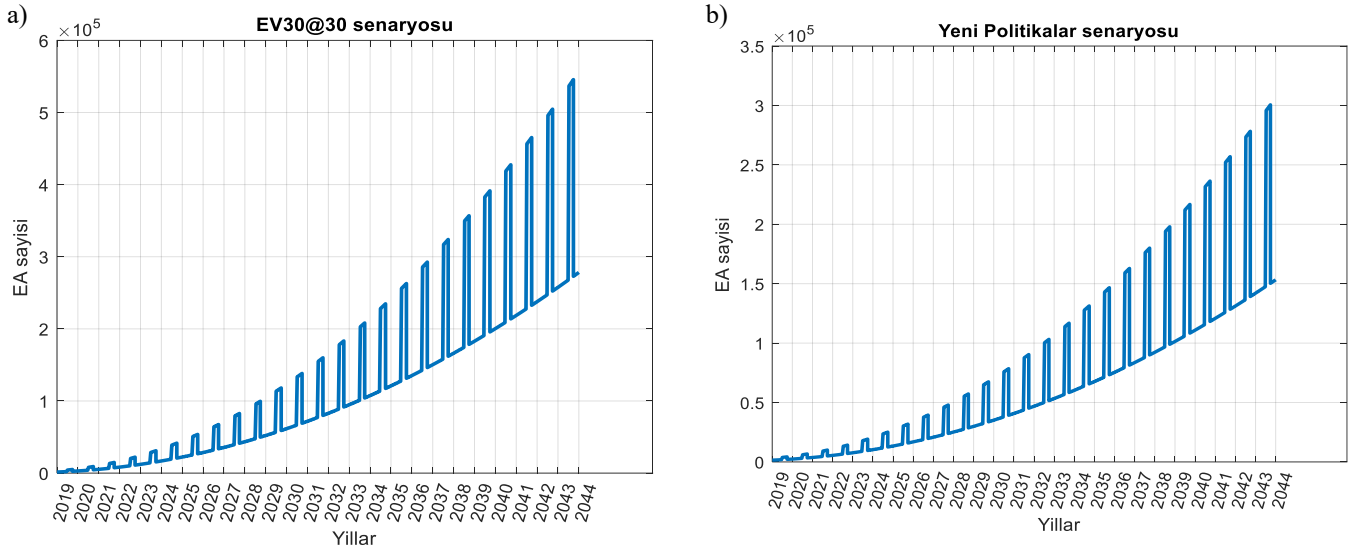
gelmekte, ve bu şekilde artarak 31.12.2043 23:00 tarihine kadar devam etmektedir. Denklem (1) ve (2)'te tanımlı olan fonksiyonlar t değerini girdi olarak alıp, çıktı olarak dünya üzerindeki tahmini EA sayısını vermektedir (Şekil 2.c,d).

FV panellerin kullanım ömürlerinin yaklaşık 25 yıl olması sebebiyle, analizlerin 25 yılı kapsayacağı göz önüne alınarak, bu iki senaryo için aynı artış trendinin 2044 yılına kadar devam edeceği kabul edilmiştir. İzmir'deki EA sayısı çalışmanın yapıldığı tarih itibariyle 100, dünyada ise 5610000 civarındadır (IEA, 2018) (İzmir'deki EA sayısı Eşarj firmasından sözlü olarak elde edilmiştir). Bu oranın önümüzdeki yıllarda da korunacağı kabul edilmiştir. Ayrıca, Eşarj firmasından elde edilen bilgiye göre, İzmir ilinin turistik yer olması sebebiyle EA sayısı yaz aylarında (haziran, temmuz ve ağustos ayları) iki katına çıkmaktadır. Bu durumu da dikkate alarak İzmir'deki EA sayısının zamanla değişimi, orantı kullanılarak Denklem 4'de ifade edilmiş ve 2044 yılına kadar tahmini değişim grafiği Şekil 3'te verilmiştir.

$$EA_{İzmir}^{İzmir}(t) = \begin{cases} EA_{Senaryo}^{Dünya}(t) \frac{100}{561000}, & 6, 7, \text{ve } 8. \text{ aylar} \\ EA_{Senaryo}^{Dünya}(t) \frac{200}{561000}, & \text{diğer aylar} \end{cases} \quad (4)$$



Şekil 2. Elektrikli araç sayısı senaryoları (International Energy Agency, 2018) ve benzetimleri. a) Yeni Politikalar Senaryosu, b) EV30@30 Senaryosu, c) Yeni Politikalar Senaryosu benzetim, d) EV30@30 Senaryosu benzetim.



Şekil 3. Senaryo durumlarına göre İzmir’de 2044 yılına kadar tahmini elektrikli araç sayısı. a) EV30@30 senaryosu. b) Yeni Politikalar Senaryosu.

2.2.2 EA’ların AVM’ye Geliş Zamanlarının Modellenmesi

Literatürdeki çalışmalarda, temel yaklaşım EA’ların gelme sıklığının, sabit biçim parametresi (λ) değerine sahip bir Poisson dağılımı veya saatlik olarak biçim parametresi değeri artan Poisson dağılımı ile modellenmesi üzerine olmuştur (Chrysanidis et al. 2019). Biçim parametresi sabit Poisson dağılımı, genelde teorik kapalı çözüm bulmak için; saatlik değişen parametre ise, daha gerçekçi bir benzetim modeli elde etmek için kullanılmaktadır. Bu çalışmada ise, gerçeği olabildiğince yansıtmak amacıyla yaz ve kış sezonlarındaki her gün ve her saat için ayrı olmak üzere geliş sıklığı belirlenmiştir.

Sistem bir AVM düşünülerek kurulduğu için, araçların geliş süreleri bu ortama uygun şekilde belirlenmelidir. Kişilerin AVM ihtiyaçları günlük ve saatlik olarak hem ihtiyaca göre hem de kişilerin çalışma saatlerine göre değişmektedir. Örneğin, hafta sonu ve iş çıkışı saatlerinde yoğunluk daha fazla olabilmektedir. Yani, EA’ların gelme sıklığı, haftanın gününe ve saatine bağlıdır. Ayrıca, EA’ların gelme sıklığı en çok etkileyen diğer faktör ise, EA’ların yaygınlığıdır. Dolayısıyla, rassal bir benzetim modeli oluştururken, günü saat saat ele almak ile birlikte, EA’ların toplam araç popülasyonu içindeki oranını da dikkate almak gereklidir.

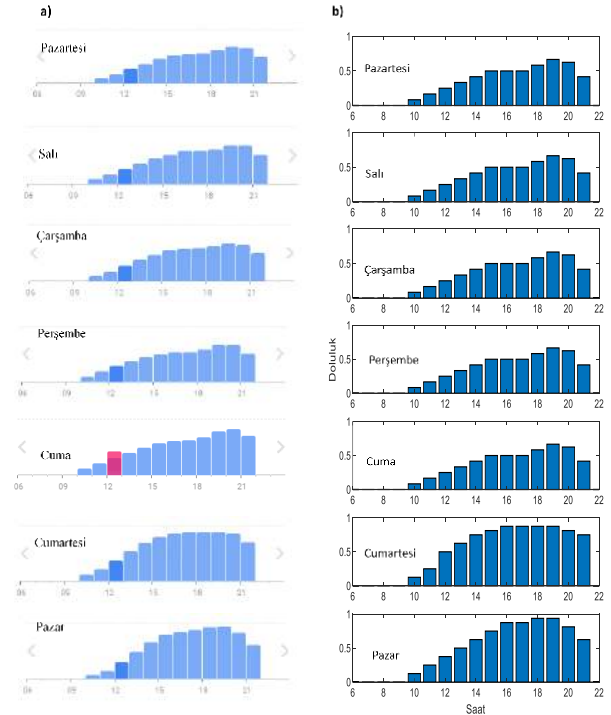
AVM’ye gelen araçların zamanları ile ilgili çok kısıtlı bir veri bulunmaktadır. İzmir’de EA sayısının az olması nedeniyle bunu belirlemek ancak bazı kabullerle mümkündür. Bu amaçla Google Haritalar (Google, 2019) tarafından AVM’nin her gün için saat saat verilen popülerlik zaman indeks grafiğinden faydalanılmış ve Şekil 4.a’da gösterilmiştir. Her gün için saat bazında AVM’ye EA gelme sıklığının, bu profile benzediği kabul edilmiştir.

Şekil 4.b’de ise MATLAB ortamında tanımlanmış parçalı-tanımlı doğrusal fonksiyonun çubuk gösterimi verilmiştir. Ancak bu profil gösteriminde araç veya kişi sayısı gibi sayısal bir bilgi mevcut değildir. Örneğin, akşamüzeri gelen araç sayılarının sabah ve öğlene göre fazla olduğu popülerite profilinden anlaşılabilir. Ancak, araçların kaç tane olduğu bilgisi bulunmamaktadır. Yine de bu popülerite profili şu şekilde benzetim modeline dönüştürülebilir: $\lambda_{g,s}^{EA}(t)$ rassal parametresi, bir aracın güne ve saate bağlı olarak AVM’ye gelme sıklığı olarak tanımlanmış ve popülerite profillerine uygun bir

fonksiyon olarak kabul edilmiştir. $\lambda_{g,s}^{EA}(t)$ ’nin şehirdeki EA sayısı (yani $EA_{senaryo}^{İzmir}(t)$) ile çarpılması durumunda, AVM’ye belli bir gün ve günün belli bir saatinde EA gelme sıklığı bulunabilir. $\lambda_{g,s}^{EA}(t)$ bir profil fonksiyonu olduğu için, gerçek sayısal değerleri yansıtmak için ölçeklenmesi gerekmektedir. Bu ölçek değeri q olarak tanımlanmıştır. Dolayısıyla, sözü geçen AVM’ye EA gelme sıklığı:

$$\lambda_{AVM}(t) = q * \lambda_{g,s}^{EA}(t) * EA_{senaryo}^{İzmir}(t) \quad (5)$$

ifadesinden hesaplanabilir ($EA_{senaryo}^{İzmir}(t)$ EV30@30 veya Yeni Politikalar senaryosunu ifade etmektedir).



Şekil 4. Alışveriş merkezlerinin saatlik insan popüleritesi. a) Google’den alınan veriler. b) MATLAB’ta parçalı tanımlı doğrusal fonksiyonun çubuk gösterimi. Parçalı tanımlı doğrusal

fonskiyonda, fonskiyonun iki tam saat arasındaki değeri, doğrusal olarak değerlendirilmiştir.

Denklem (5)'teki gibi tanımlanan $\lambda_{AVM}(t)$ parametresine sahip bir Poisson prosesinden rassal geliş zamanları turetildiğinde, AVM'ye gelen EA'ların geliş zamanları bulunmuş olacaktır. Ancak, bu tretimim sabit biçim parametresine sahip (homojen) bir Poisson dağılımdan yapılan tretimime göre farklıdır. Bunun için, homojen olmayan Poisson dağılımından geliş zamanı tretimimi gereklidir. Bu tretimim ile ilgili aşağıda gösterilen sözde-kod (Algoritma-1) kullanılmıştır.

Algoritma-1. Homojen olmayan Poisson dağılımından geliş zamanı tretimimi

<p>$S_i \in (0, T)$ zaman aralığında olmak üzere:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) $t = 0, n = 0, \lambda = \max_{t \in [0, T]} \lambda_{AVM}(t)$; 2) $t = t - \frac{\ln(uni(0,1))}{\lambda}$, if $t > T$ 3) if $Uni(0,1) \leq \frac{\lambda_{AVM}(t)}{\lambda}$, then $n = n + 1, S_n = t$ 4) 2.adıma git <p>Çıktılar: n (0, T) zaman aralığında gerçekteşen olay sayısı, S_1, \dots, S_n olay zamanları.</p>

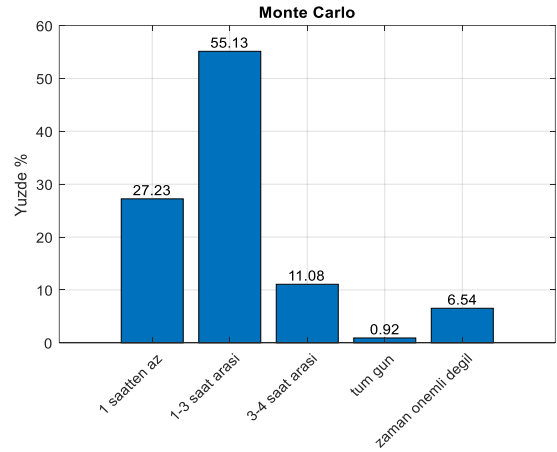
Denklem 5'deki $\lambda_{AVM}(t)$ ifadesindeki q ölçek değerinin bulunması için gerçekte veriye ihtiyaç duyulmaktadır. İzmir'deki EA'lar ile ilgili internet kaynaklarındaki kısıtlı veri nedeniyle Eşarj firmasından bilgi alınmış ve 12 eşarj istasyonundan şubat 2019 ayı içerisinde toplamda 700 kWh enerji çekildiği öğrenilmiştir. Ortalama tek bir eşarj istasyonundan 700/12 kWh, yani yaklaşık 58 kWh, enerji çekilmiştir. Bu bağlamda, şubat 2019 ayı için Algoritma-1 koşturulmuş ve bir şarj istasyonundan 58 kWh civarında enerji talebi oluşturacak şekilde, deneme-yanıma yoluyla q değeri $1,1 * 10^{-5}$ olarak bulunmuştur. Burada, AVM'ye konulan bir şarj istasyonunun da diğer şarj istasyonları ile aynı şekilde kullanıcı çektiği düşünölmüştür. Ancak, AVM'ye konulan şarj istasyonlarının normalden daha fazla kullanıcı çekeceği de yadsınamaz bir gerçektir. Dolayısıyla burada yapılan çalışmayı, elde edilebilecek kâr değerinin asgari seviyesi olarak yorumlamak daha doğrudur.

2.2.3 Gelen EA'ların AVM'de Kalış Süreleri

Gelen EA'ların şarj istasyonunda kalış süreleri AVM'lerde kişilerin geçirdiği zaman ile belirlenebilir. Tablo 2, AVM'ye gelen kişilerin büyük bir çoğunluğunun 1-3 saat arası vakit geçirdiğini göstermektedir (Konyalıoğlu, 2014). Bu bilgiyi benzetim çalışmalarına entegre edebilmek için, Tablo 2'deki "Yüzde" bilgisini içeren sütun ayrıık olasılıık dağılımı olarak kabul edilip, gelen her bir EA'nın ne kadar süre kalacağı bu dağılımdan Monte Carlo yöntemiyle üretilmiştir. Monte Carlo ile üretilen "AVM'de geçirilen sürelerin" yüzde olarak çubuk grafiği şekil 5'te verilmiştir. Tablo 2'deki "Yüzde" sütunu ile şekil 5 birbiri ile uyumludur.

Tablo 2. Alışveriş merkezinde geçirilen sürelerin dağılımı (Konyalıoğlu, 2014).

Geçirilen Süre	Frekans	Yüzde
1 saatten az	141	% 27
1-3 saat	286	% 55
3-4 saat	57	% 11
Bütün gün	5	% 1
Zamanı önemli değil	31	% 6
TOPLAM	520	% 100



şekil 5. Aracın alışveriş merkezindeki süresinin Monte Carlo simölasyonu.

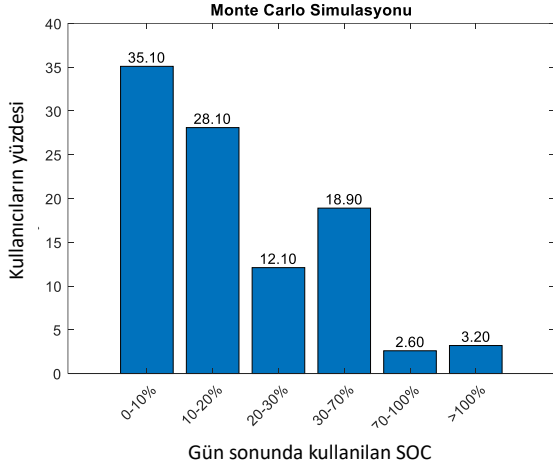
2.2.4 Gelen EA'ların Batarya şarj Durumunun Benzetimi

Gelen araçların zamanları rassal olduğu gibi, şarj Durumu (State of Charge -SOC) dağılımları da rassaldır ve özellikle de günün saatine göre değişmektedir. Bu konuda Wang ve diğerlerinin (2019) yaptığı çalışma baz alınmıştır. Bu çalışmaya göre bir tam gün içerisinde saat 07:00'den gece 00:00'a kadar EA'ların yaklaşık olarak %35'i batarya kapasitelerinin %0-10'unu, %28'i %10-20'sini, %12'si %20-30'unu, %19'u %30-70'ini, %3'ü %70-100'ünü, %3'ü ise %100 veya daha fazlasını kullanmaktadır. Bu yüzdeler bilgisini ayrıık bir dağılım olarak kabul edip, gelen EA'ların gün sonunda tüketmiş olduğu enerji, batarya yüzdelerli şarj durumu cinsinden Monte Carlo benzetimi ile bulunmuştur. şekil 6'da Monte Carlo benzetiminin sonuçları görölmektedir. EA'nın AVM'ye geldiği andaki batarya şarj durumu ise, geliş zamanlarına oranlanarak bulunmuştur. Wang ve diğerlerinin (2019) çalışmasında saat 07:00'den gece 00:00'a kadar 17 saatlik bir süredeki enerji kullanımını vermektedir. Ele aldığımız AVM ise saat 10:00 ile 22:00 arası açıktır. Basit bir orantı ile, gün sonunda %X SOC harcaması gereken bir aracın AVM'ye geldiği anda ne kadar SOC'si olduğu aşağıdaki Denklem 6'da olduğu gibi hesaplanmıştır.

$$SOC(t_{geliş}) = \%X * \frac{(t_{geliş}-10+3)}{17} \quad (6)$$

$$10:00 < t_{geliş} < 22:00$$

$SOC(t_{geliş})$, gün sonunda %X SOC tüketmesi beklenen bir aracın, AVM'ye geldiği andaki ($t_{geliş}$) SOC değerini vermektedir.



Şekil 6. EA'ların gün sonunda harcadıkları enerjinin SOC cinsinden Monte Carlo simülasyonu.

2.3 Güç Dengesi Ve Çalışma Modu

FV destekli ve bataryalı sistemlerde gücün öncelikle nereden sağlanacağı belirlenmelidir. Bu çalışmada, bir yükü beslemek için ilk olarak FV, ikinci olarak akü ve son olarak şebeke gücü kullanıldığı varsayılmıştır. Burada izlediğimiz yol, değerleri belli bir sistem için olmayacak olup, ileride sistem parametrelerinin değişimi durumunda, buradaki metodoloji takip edilerek, sistemin ekonomik analizini yapmaya uygun olacaktır.

Herhangi bir t anında Denklem 7'deki güç dengesi sağlanmak durumundadır:

$$P_{FV}(t) + P_{Şebeke}^{Alış}(t) + P_{Şebeke}^{Satış}(t) + P_{EA}(t) + P_{Bat}^{Şarj}(t) + P_{Bat}^{Deşarj}(t) = 0 \quad (7)$$

Bu formülde, $P_{FV}(t)$, t anında üretilen FV gücüdür ve $P_{FV}(t) \geq 0$ ve $P_{EA}(t)$, t anında EA'nın talep ettiği güçtür ve $P_{EA} \leq 0$ eşitsizliği sağlanmak durumundadır.

$P_{Şebeke}^{Alış}$ ve $P_{Şebeke}^{Satış}$ Denklem 8'i sağlamalıdır:

$$P_{Şebeke}^{Alış} * P_{Şebeke}^{Satış} = 0 \quad (8)$$

$$P_{Şebeke}^{Alış} \leq 0$$

$$P_{Şebeke}^{Satış} \geq 0$$

$P_{Şebeke}^{Alış}$ ve $P_{Şebeke}^{Satış}$ değişkenleri, pozitif veya negatif değer alabilen tek bir değişkene $P_{Şebeke}^{Alış/Satış}$ indirgenbilir. $P_{Şebeke}^{Alış/Satış}$ negatif olduğunda Satış, pozitif olduğunda ise Alış işlemi gerçekleşmiş olur.

Aynı şekilde batarya Denklem 9'u sağlamalı ve aynı anda şarj ve deşarj edilememeli:

$$P_{Bat}^{Şarj} * P_{Bat}^{Deşarj} = 0 \quad (9)$$

$$P_{Bat}^{Şarj} \leq 0$$

$$P_{Bat}^{Deşarj} \geq 0$$

Bataryada güç var iken, şebekeden elektrik alınmaması durumu Denklem 10 ile sağlanmaktadır:

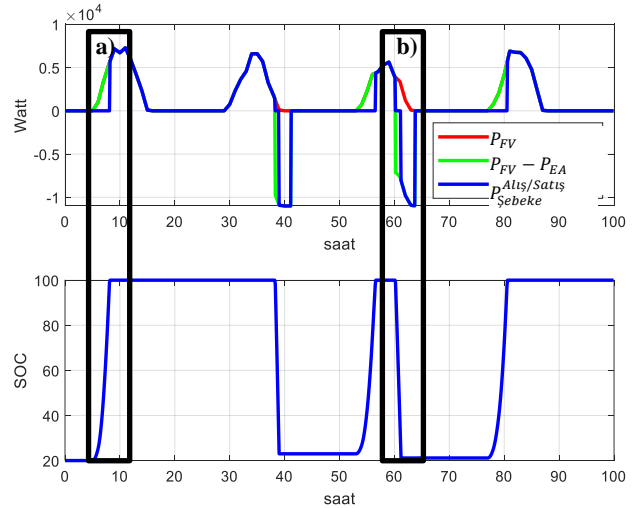
$$P_{Şebeke}^{Alış} * (SOC_{Bat,FV} - \%20) = 0 \quad (10)$$

Dikkat edilirse, SCADA veya talep tepki (Demand Response) programları gibi akıllı sistemler, bataryada kullanılacak güç var iken de şebekeden elektrik alınmasına izin vermekte ve gün içi değişen elektrik fiyatlarına göre şarj ve deşarj durumlarını takvimleyebilmektedir. Bu çalışmada bu durum incelenmemiştir.

Batarya şarj derinliği %20 olarak seçilmiştir:

$$\%20 \leq SOC_{Bat,FV} \leq \%100 \quad (11)$$

Bahsettiğimiz güç dengesi kısıtları ve denklemlerine uygun olarak MATLAB/Simulink ortamında bir model oluşturulmuştur. Ocak 2019'un birinci günü için, oluşturduğumuz bu modelin güç dengesi benzetimi Şekil 7'de gösterilmiştir. Şekil 7'de alttaki grafik FV sistemindeki bataryanın ($SOC_{Bat,FV}$) SOC durumunu, üstteki grafik ise sistem bileşenlerinin güçlerini göstermektedir. Şekil 7.a'da siyah kutu içine alınmış alana dikkat edilirse, FV'nin ürettiği ve EA'ya aktarıldıktan sonra geriye kalan net güç, yani $(P_{FV} - P_{EA})$, $SOC_{Bat,FV}$ 'i %20'den %100'e getirmiştir. $SOC_{Bat,FV}$ %100 oluncaya kadar $P_{alış/satış}$ sıfırdır. Ancak, $SOC_{bat,FV}$ %100 olduktan sonra $(P_{FV} - P_{EA})$ kadar güç şebekeye satılmıştır. Şekil 7.b'de siyah kutu içine alınmış alana baktığımızda ise, bir EA'nın sistemden güç talep ettiği (P_{FV}) ile $(P_{FV} - P_{EA})$ grafiğinin farklı olduğundan anlaşılmaktadır (Şekil 7.a'da P_{FV} ile $(P_{FV} - P_{EA})$ üst üste geldiği için kırmızı çizgi, yani (P_{FV}) , görünmemektedir). Önce $(P_{FV} - P_{EA})$ pozitif durumda iken EA'yı şarj etmekte, negatif duruma geçtiğinde ise $SOC_{bat,FV}$ kullanılmakta ve $SOC_{Bat,FV}$ de bittiğinde gerekli güç şebekeden sağlanmaktadır.



Şekil 7. Güç dengesi simülasyonu.

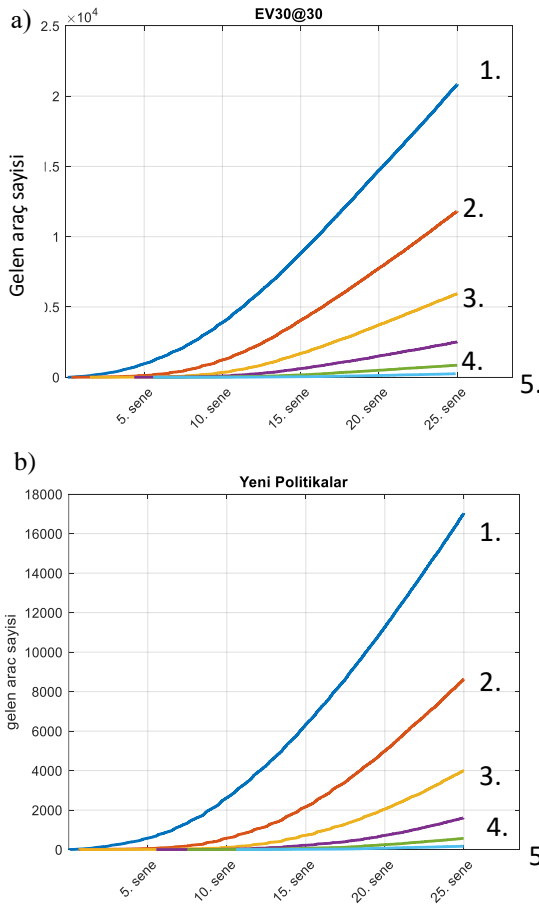
Özetlemek gerekirse, burada kurgulanmış olan sistem, EA olmadığı durumda FV'den üretilen güç ile $SOC_{bat,FV}$ 'nin dolmasını sağlar. $SOC_{bat,FV}$ dolduktan sonra ise (halen daha EA yok ise) şebekeye satış gerçekleşir. EA sistemden güç talep ederse, öncelikle FV gücü kullanılır. FV gücün yetersiz kaldığı durumda ise, bataryadaki hazırda bekleyen enerji ile destek sağlanır. Bataryada enerji yok ise şebekeden alış gerçekleşir ve EA'nın dolumu kesintisiz bir şekilde tamamlanmış olur. Sonuç olarak bu şekilde kurgulanmış bir sistemde EA şarj için asla geri

çevrilmemekte ve kesintisiz bir şekilde enerji isteğinin cevaplandırıldığı görülmektedir.

3. Sonuçlar

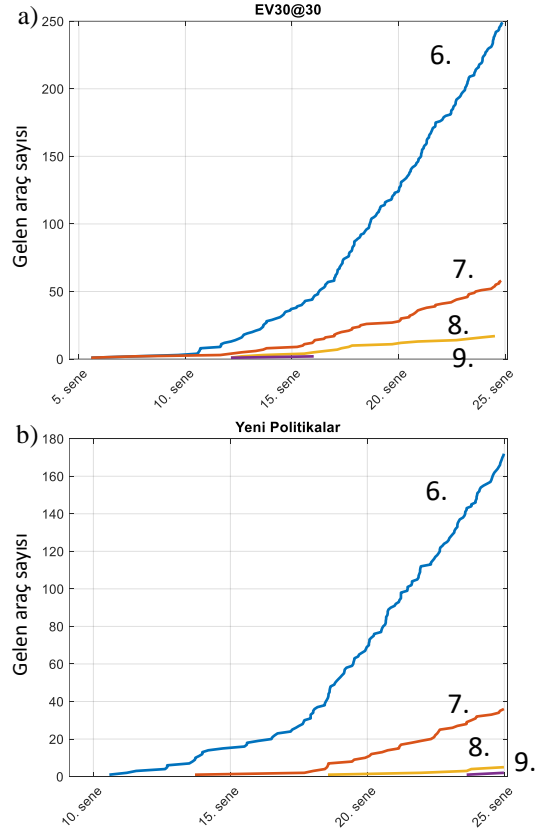
3.1 Şarj İstasyonu Talep Analizi

2030 yılına kadar, AVM içerisinde EA şarj talebini karşılayabilecek optimal sayıdaki EA şarj istasyonu sayısı bilinmemektedir. Kurgulanan sistemde, ilk gelen araç 1. istasyona, eğer 1. istasyon dolu ise 2. istasyona gittiği ve bunun bu şekilde N. istasyona kadar devam ettiği kabul edilmiştir. Yapılan analizlerde, 10. istasyona 2044 yılına kadar ihtiyaç görülmemiştir. Her bir istasyona gelen talebin belli bir politika tahmini altında, hangi saatte ve ne kadar olduğu rassal olarak üretilmiştir. Şekil 8'de ve 9'da 2044 yılına kadar, şarj istasyonlarına belli bir anda o ana kadar gelen toplam araç sayısı görülmektedir. Ancak, daha önce bahsedildiği gibi yazarlar olarak AVM içerisindeki şarj istasyonlarına olan talebin şehir içindeki şarj istasyonlarına olan talepten daha fazla olması beklenmektedir. Bu konuda henüz tatmin edici bir çalışma yapılmamıştır. Bu durumda ne kadar istasyona ihtiyaç duyulacağını bundan sonraki çalışmalarda birçok faktör ele alınarak incelenmesi gerekmektedir. Burada, AVM'deki EA şarj istasyonlarının şehir içerisindeki şarj istasyonları ile aynı rağbeti gördüğü, fakat AVM içerisinde gün içinde değişen EA popülasyonunun, özellikle de akşam üstü kalabalığının AVM içerisindeki şarj istasyonlarına olan talebi arttırması ve gün



Şekil 8. 2044 yılına kadar 1-5 numaralı şarj istasyonu gelen araç sayısı a) EV30@30

boyunca biriktirilen güneş enerjisinin bu talebin karşılanmasındaki etkisi incelenmiş olacaktır. Özellikle de bu saatlerdeki elektrik talebinin artışının şebeke üzerindeki yükü azaltması da incelenecektir.



Şekil 9. 2044 yılına kadar 6-9 numaralı şarj istasyonuna gelen araç sayısı a) EV30@30 politikası altında, b) Yeni Politikalar altında.

Sistemdeki rassal değişkenlerin, EA'ların sisteme geliş süreleri, EA'ların sisteme girdiklerindeki batarya SOC değerleri, EA'ların sistemde kalış zamanları ve FV gücü olduğundan daha önce bahsedilmiştir. Bunlara istinaden yukarıdaki grafiklerde görüldüğü üzere, önümüzdeki 25 yıl için iki politika arasında araç gelme sayısında fark olmasına rağmen iki senaryoda da 5. istasyondan sonra ciddi bir düşüş yaşanmaktadır. 6.-9. istasyonlardaki kazanç tamamen yenilenebilir enerjinin şebekeye sattığı elektrikten gelen kazanç olmuştur. Sonraki altbölümde, bu EA şarj istasyonları yatırımlarının maliyet ve geri dönüş süreleri incelenecektir.

3.2 Şarj İstasyonu Maliyet Analizi

Her bir araç şarj istasyonu, ayrı ayrı ele alınmıştır. Talep, kurulan modellere göre 2044 yılına kadar oluşturulmuştur. Ancak, FV ve batarya boyutları bilinmemektedir. Bir eviriciye bağlanabilecek olan FV güçleri daha önce Tablo 1'te bahsedildiği gibi, 2750, 5500, 9000, 10500, 13500, 15000 Watt-peak (Wp) olabilmektedir. Benzetim çalışmaları için düşük, orta ve en yüksek, yani 2750, 9000, ve 15000 Wp değerleri kullanılmıştır. Batarya kapasiteleri de 9600 Wh'nin katları şeklinde olabilmekte ve üst limiti olmamakla birlikte, makul boyutta bir üst limit 5×9600 Wh (48000 Wh) olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla batarya kapasiteleri 9600, 19200, 28800, 38400, 48000 Wh'dir. Maliyet

analizi, bu farklı FV ve batarya kapasite boyutlarının tüm bilinmeyen kombinasyonları altında ve FV için watt başına 1,4 TL (Enfsolar, 2019), batarya için ise 0,76 TL (Yiğit, 2019) dikkate alınarak hesaplamaları yapılmış ve Tablo 3'te gösterilmiştir.

Belirli bir boyuttaki (boyut j -indeksi ile ifade edilmektedir) yenilenebilir enerji kurulduktan sonra, i -istasyonundaki kasada herhangi bir t anındaki biriken ciro, Denklem (12)'e göre hesaplanmaktadır:

$$Ciro_{i,j}(t) = -F_{\text{Şebeke}}^{Alış} \int_0^t P_{i,j,\text{Şebeke}}^{Alış}(\tau) d\tau + F_{\text{Şebeke}}^{Satış} * \int_0^t P_{i,j,\text{Şebeke}}^{Satış}(\tau) d\tau + F_{EA}^{Satış} * \int_0^t P_{i,j,EA}^{\text{Şebeke}}(\tau) d\tau + F_{EA}^{Satış} * \int_0^t P_{i,j,EA}^{FV}(\tau) d\tau \quad (12)$$

Sistem için harcanan yenilenebilir enerji maliyeti ise Denklem (13) dikkate alınarak belirlenmiştir.

$$Maliyet_{i,j}(t) = FV_{Watt-peak}(i,j) * 1,4 + Bat_{Watt-saat}(i,j) * 0,76 + \frac{onoffsayisi}{650} * Bat_{Watt-saat}(i,j) * 0,76 \quad (13)$$

Burada, j boyut indeksini, i istasyon numarasını, "onoffsayisi" terimi ise, ilgili istasyondaki bataryanın 25 yılda kaç defa tam şarj ve deşarj olduğu durumu ifade etmektedir. Kullanılan jel akü, 650 yaşam döngüsüne sahip olduğu için, 25 sene içerisindeki ek bakım maliyeti, *onoffsayisi* teriminin 650 sayısına bölünüp, batarya maliyeti ile çarpılması sonucu bulunmuştur. Batarya ömrü şarj deşarj çekilen akım sıcaklık gibi birçok farklı parametreye bağlıdır. Burada en etkili parametre olan şarj döngüsü ele alınmıştır.

$F_{Alış}^{\text{Şebeke}}$ şebekeden satın alınan Wh enerji başına fiyat, $F_{\text{Şebeke}}^{Satış}$ şebekeye satılan Wh enerji başına fiyat, $F_{Satış}^{EA}$ EA'ya satılan Wh enerji başına birim fiyat anlamına gelmektedir. $F_{\text{Şebeke}}^{Alış} = 0,73$ TL/kWh (Türkiye Cumhuriyeti Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK), 2019), $F_{\text{Şebeke}}^{Satış} = 0,37$ TL/kWh (EPDK, 2019), $F_{EA}^{Satış} = 1,15$ TL/kWh (Eşarj, 2019) olarak alınmıştır. i istasyonuna ait ve j boyut indeksine sahip FV sistemi, $P_{i,j,\text{Şebeke}}^{Alış}$, şebeke tarafından karşılanan anlık saat bazında gücü, $P_{i,j,\text{Şebeke}}^{Satış}$ üretim fazlası dolayısıyla şebekeye basılan anlık saat bazında gücü, $P_{i,j,EA}^{\text{Şebeke}}$ şebeke tarafından EA'ya aktarılan anlık saat bazında gücü, $P_{i,j,EA}^{FV}$ ise yenilenebilir enerji (Güneş enerjisi) tarafından şebekeye aktarılan anlık saat bazında gücü ifade etmektedir. Sistemin çalışma modu gereği $P_{i,j,EA}^{\text{Şebeke}} = P_{i,j,\text{Şebeke}}^{Alış}$ durumundadır. Herhangi bir anda EA'ya aktarılan anlık toplam güç ise Denklem (14)'teki formül ile hesaplanabilmektedir.

$$P_{i,j,EA}^{YE}(\tau) = P_{i,j,EA}^{\text{Şebeke}}(\tau) + P_{i,j,EA}^{FV}(\tau) \quad (14)$$

Sadece yenilenebilir enerji tarafından sağlanan kazanç ise yenilenebilir enerjiden şebekeye satılan enerjiden gelen ciro ile yenilenebilir enerjiden EA'ya satılan enerjiden gelen ciro toplamı olarak

$$Ciro_{i,j}^{FV}(t) = F_{\text{Şebeke}}^{Satış} * \int_0^t P_{i,j,\text{Şebeke}}^{Satış}(\tau) d\tau + F_{EA}^{Satış} * \int_0^t P_{i,j,EA}^{FV}(\tau) d\tau \quad (15)$$

denkleminde hesaplanmıştır. Bu, yenilenebilir enerjinin amortisman süresi hesabında kullanılacaktır. Denklem bakıldığında, yenilenebilir enerjinin iki alıcısı bulunmaktadır. Bunlardan biri şebeke, diğeri ise EA'dır. EA'ya 1,15 TL/kWh birim fiyattan enerji satışı gerçekleşirken, şebekeye ise 0,37 TL/kWh birim fiyattan satış gerçekleştirilmektedir.

Tablo 3. Fotovoltaik ve batarya boyutlarının tüm kombinasyonları.

Boyut İndeksi	FV Boyutu (Wp)	Batarya Boyutu (Wh)	İlk Yatırım Maliyeti (TL)	Ek Maliyet (Her batarya değişiminde) (TL)
1	0	0	0	0
2	2750	0	3850	0
3	9000	0	12600	0
4	15000	0	21000	0
5	2750	9600	11146	7296
6	9000	9600	19896	7296
7	15000	9600	28296	7296
8	2750	19200	18442	14592
9	9000	19200	27192	14592
10	15000	19200	35592	14592
11	2750	28800	25738	21888
12	9000	28800	34488	21888
13	15000	28800	42888	21888
14	2750	38400	33034	29184
15	9000	38400	41784	29184
16	15000	38400	50184	29184
17	2750	48000	40330	36480
18	9000	48000	49080	36480
19	15000	48000	57480	36480

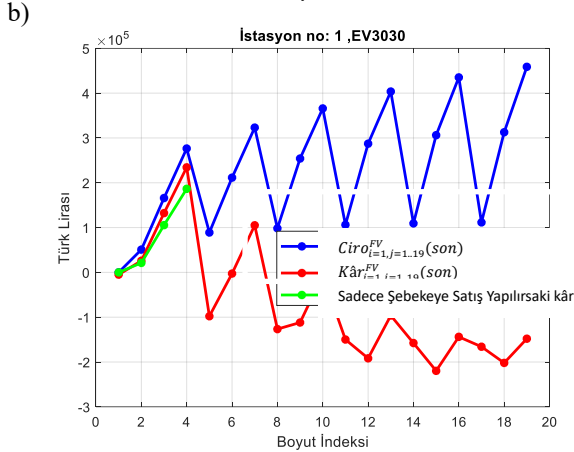
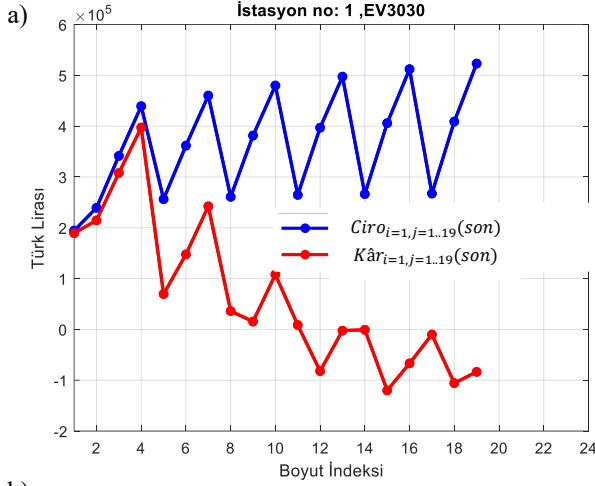
3.2.1 FV Boyutlandırmasının Kazanç Etkisi

Tablo 3'te verilen tüm FV ve batarya sistemi boyutları için iki farklı EA araç sayısı tahmini olan EV30@30 ve Yeni Politikalar altında, 10 EA şarj istasyonunun 25 sene boyunca simülasyonu yapılmış ve bu belirtilen sene sonunda, her bir farklı

boyut indeksi j ve farklı istasyon i için ($Kâr_{i,j}(t) = Ciro_{i,j}(t) - Maliyet_{i,j}(t)$) analiz edilmiştir.

Maliyet analizinde belirtilen şebekeye alış-satış ve EA'ya satış fiyatı dikkate alınmıştır. Bahsedilen fiyatlarda EA'ya elektrik satmak şebekeye satmaktan daha kârlı olacağı için, bir şarj istasyonuna ne kadar çok EA gelirse kazancı o kadar fazla olacaktır. Bu durumu daha iyi görebilmek için, 1. istasyon tek başına ele alınmıştır. Şekil 10.a'da EV30@30 senaryosu altında yatırım maliyeti düşülmeden 25 sene sonunda kasada biriken ciro,

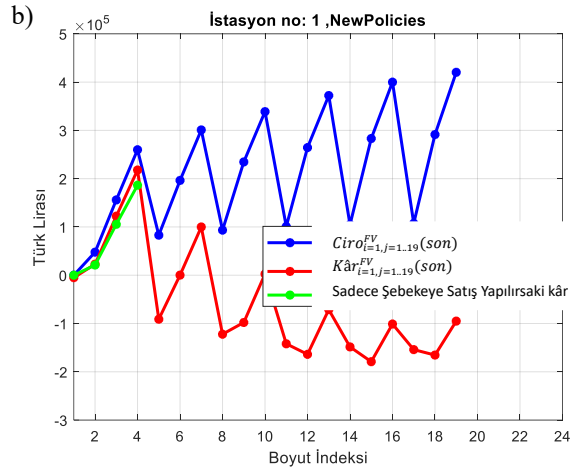
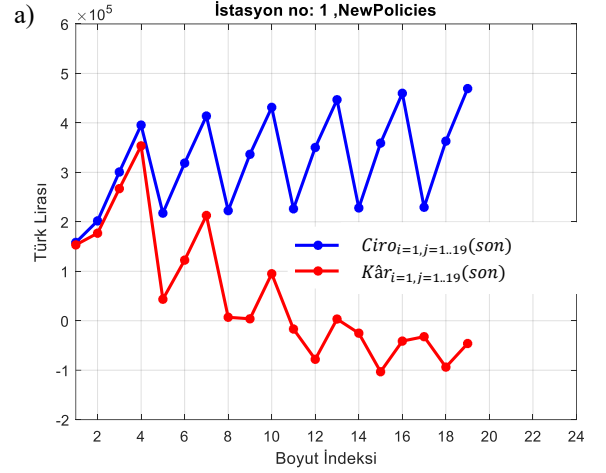
dikkate alındığında, sistem kendini amorti edememektedir. Bunun nedeni, EA'ların bataryaları çok hızlı bir şekilde deşarj etmeleri ve sene içerisindeki şarj ve deşarj sayılarını artırarak, bataryanın ömrünü düşürmeleridir. Bu durumda, yaklaşık olarak her sene batarya maliyeti çıkmaktadır. Aynı durum, Şekil 11'de gösterilen Yeni Politikalar senaryosu altındaki analiz için de geçerlidir. Yeni Politikalar senaryosu, EV30@30 senaryosuna göre daha az EA araç sayısı öngörmektedir. Dolayısıyla, Şekil 11'de 1. İstasyonda daha az kazanç görülmektedir.



$Ciro_{i=1,j=1..19}(son)$ ve $Kâr_{i=1,j=1..19}(son)$, biriken para boyut indeksi (j) x-ekseninde x-ekseninde, Türk Lirası cinsinden kazanç ise y-ekseninde olmak üzere çizilmiştir.

Şekil 10. a) EV30@30 için en yoğun 1. istasyonun toplam kazancı. b) EV30@30 için en yoğun 1. istasyonun yenilenebilir enerji kazancı.

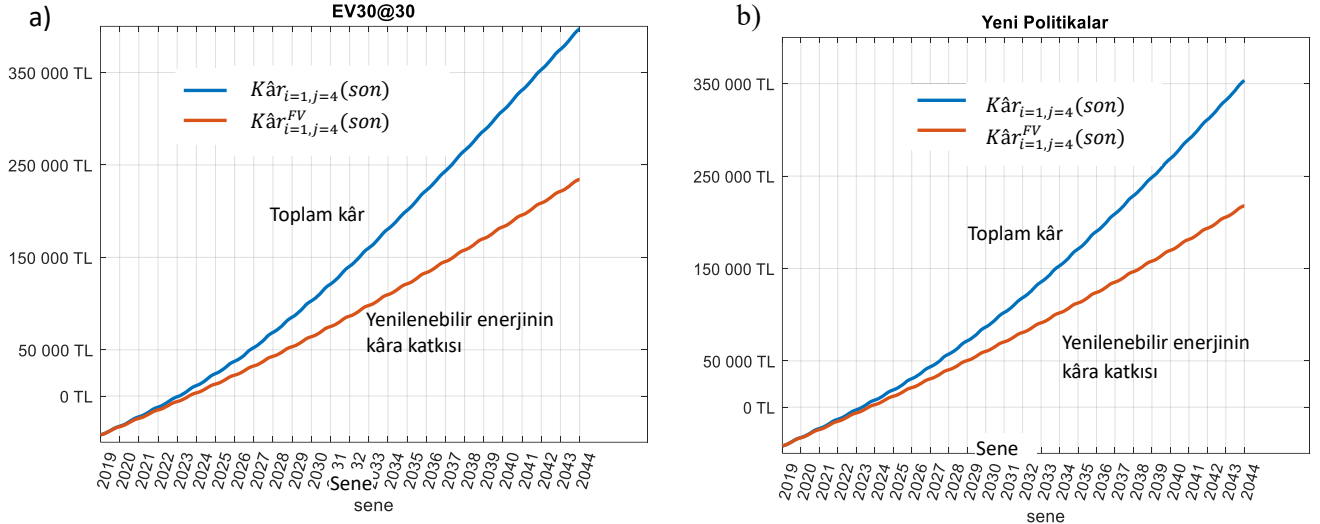
Şekil 10.b'de 1. İstasyondan sadece yenilenebilir enerjinin EA elektrik satışına katkısı görselleştirilmiştir. Şekil 10.b'de üretilen yenilenebilir enerji sadece şebekeye satış yapıldığı durumda elde edilecek olan kâr, EA şarj istasyonunun da dâhil olduğu durumdaki kâr ve ciro çizilmiştir. Şekil 10.b'de zigzag çizerek ilerleyen mavi çizginin tepe noktaları farklı batarya kapasitelerine sahip 15 kWp'lik kurulu güçlere denk gelmektedir. Görüldüğü üzere, indeks 19'a doğru ilerledikçe, bu tepe noktalarının karşılık geldiği değer de büyümektedir. Bunun nedeni, bataryada biriken enerjinin, gün sonunda EA'lara satılabilmesidir. Ancak bu yanıltıcıdır. Çünkü yatırım maliyetleri



Şekil 11. a) Yeni politikalar (New Policies) için en yoğun 1. istasyonun toplam kazancı. b) Yeni politikalar için en yoğun 1. İstasyonun yenilenebilir enerji kazancı.

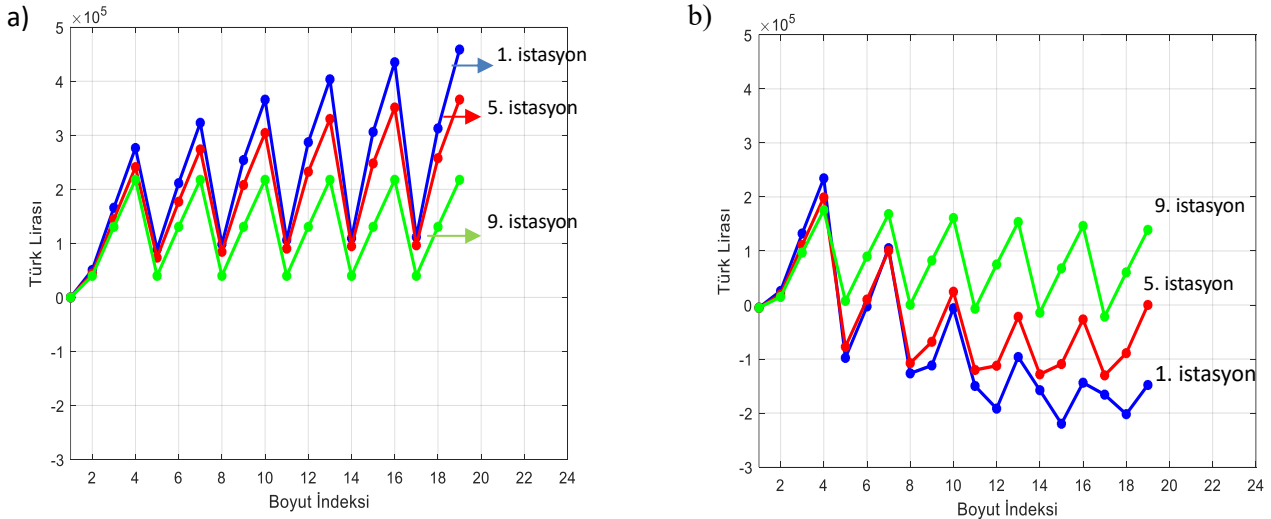
Farklı istasyonlarda, araç gelme sıklığı farklı olacağından toplam kazanç da farklı olacaktır. 1. istasyon, EA gelme sıklığı en fazla istasyon olup, 10. istasyona doğru sıklık giderek azalmaktadır (9. ve 10. istasyonların maliyetleri çok yakın olduğundan, 9. istasyon'a kadar inceleme yapılmıştır). EA'ya elektrik satışı, şebekeye satıştan daha kârlı olduğu için, 1. istasyondan 9. istasyona aynı FV kurulu güç altında, kurulum sonrası kasaya giren para da azalmaktadır (Şekil 12.a). Ancak, yatırım maliyeti düşürüldüğünde, yüksek numaralı istasyonlar avantajlı konuma geçmektedir (Şekil 12.b). Bunun nedeni, az EA sayıları sebebiyle, batarya değişimlerinin düşük veya hiç olmamasıdır. Bu durumda, bataryalı güneş sistemlerinin EA şarj istasyonları için avantajlı ve kötü yatırım olduğu görülmektedir.

sadece yenilenebilir enerjiden elde edilen kâr yaklaşmaktadır



Şekil 13. a) EV30@30 altında 1. istasyon için yenilenebilir enerjinin sistem kazancına etkisi. b) Yeni Politikalar senaryosu altında 1. istasyon için yenilenebilir enerjinin sistem kazancına etkisi.

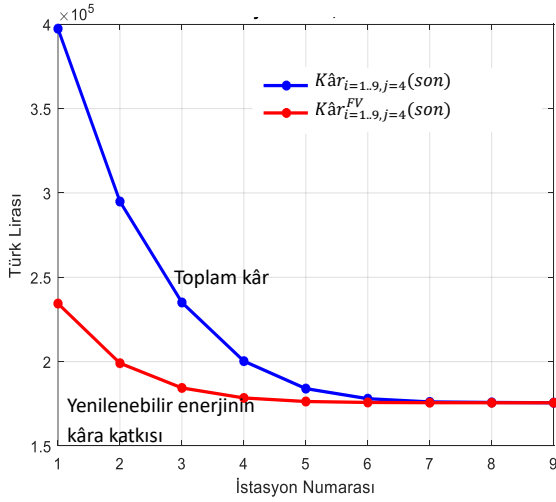
(Şekil 14).



Şekil 12. a) EV30@30 politikası altında 1, 5 ve 9. istasyonlardaki yatırım sonrası 25 sene sonunda kasadaki para. b) EV30@30 politikası altında 1, 5 ve 9. istasyonlardaki maliyet düşüldükten sonra 25 sene sonunda kasadaki para.

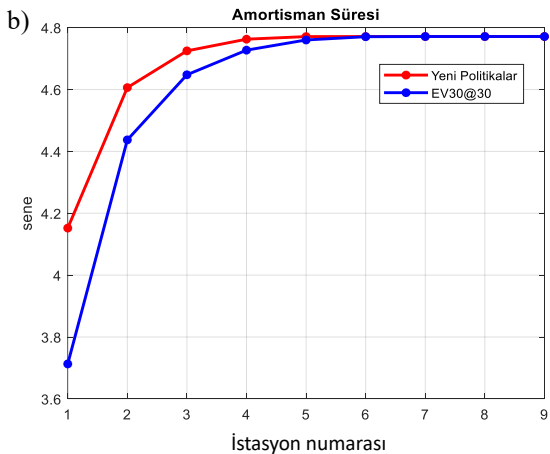
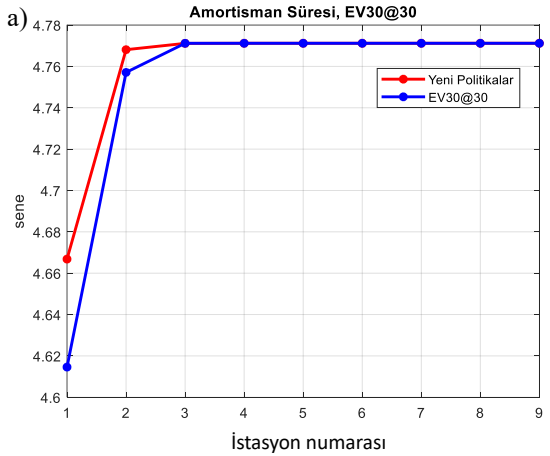
3.2.2 Yenilenebilir Enerjinin Kazanca Katkısı

Yenilenebilir enerjinin getirisi, şebekeye elektrik satışından veya EA'ya elektrik satışından oluşmaktadır. Toplam kâr içerisinde ise, şebekeden alınıp EA'ya satılan elektrik de bulunmaktadır. Yenilenebilir enerjinin kazancı, batarya olmadan 15 kWp kurulu FV güç için (boyut indeksi $j = 4$) ve en yoğun olan 1. İstasyon ($i = 1$) için EV30@30 senaryosu altında saat saat bulunmuştur. Toplam kâr ile sadece yenilenebilir enerjinin kârı, maliyetleri düşüldükten sonra hesaplanmış ve Şekil 13.a'da verilmiştir. Görüldüğü üzere, yenilenebilir enerji 1. istasyon ve 15 kWp'lik kurulu güç için, yaklaşık yarı yarıya bir kâr getirisi sağlamaktadır. Yeni Politikalar senaryosu altında ise, toplam kazanç daha az olmaktadır (Şekil 13.b). Şekil 14'te istasyon numaralarına karşılık olarak toplam kâr ve "yenilenebilir enerjinin kâr katkısı" çizilmiştir. Görülmektedir ki şarj istasyonuna gelen EA sayısı düşmeye başladıkça, toplam kâr



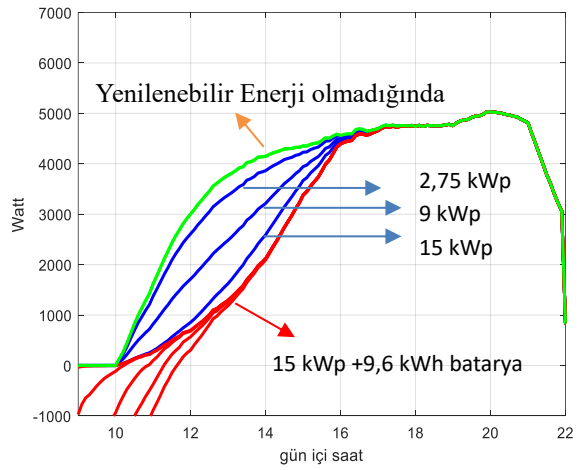
Şekil 14. EV30@30 politikası altında tüm istasyonların 25 senedeki toplam kazancı ve yenilenebilir enerji kazancı.

Yenilenebilir enerji, EA'ya satışından elde ettiği kazanç ile şebekeye sattığı durumda elde edeceği kazanç daha fazla olacağından, amortisman süresi sadece şebekeye sattığı duruma göre daha az olacaktır (Şekil 15.a). Ancak, 1. istasyon ile diğer istasyonlar arasında büyük bir amortisman farkı bulunmamaktadır. Bunun nedeni, ilk 10 yılda İzmir için EA sayısının fazla olmayışdır. Eğer yenilenebilir enerji 2019 değil de 2029 yılında (10.yılda) kurulmuş olsaydı, istasyonların amortisman süreleri arasında daha fazla fark bulunduğu görülmüştür (Şekil 15.b).



Şekil 15. a) Her bir istasyondaki yenilenebilir enerjinin amortisman süresi. b) Her bir istasyondaki yenilenebilir enerjinin 2029 yılında kurulmuş olduğundaki amortisman süresi.

EA sayısı arttıkça yenilenebilir enerji kullanımının toplam kâr üzerindeki etkisi giderek azalacaktır. Ancak, yine de unutulmamalıdır ki, EA sayısı arttıkça şebekeye binen yük ciddi biçimde artacaktır. Kullanılan yenilenebilir enerjinin kâr dışındaki toplumsal katkısı ise şebeke üzerine binen bu yükün hafifletilmesidir. Şekil 16'da farklı boyutlardaki FV sisteminin, EA'lar tarafından şebekeye bindirilen yükün 25 yılda ortalama ne kadar düşürüldüğü gösterilmiştir. Yeşil çizgi, FV sistem kurulmasaydı olacak olan toplam güç iken, mavi çizgiler, 2,75 kWp, 9 kWp ve 15 kWp kurulu güç durumundaki düşüşü ve kırmızı çizgiler ise, sistem bataryalı olduğu durumdaki düşüşü göstermektedir. Bataryalı güneş enerjisi sisteminin kurulumu, maliyeti amorti edemeyecek derecede yüksek olsa da bu sistemlerin şebekeye bindirilen yükü daha fazla hafifletme eğilimine sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 16. Yenilenebilir enerji kullanmanın şebeke üzerindeki etkisi.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada yapılan analizler sonucunda 5. istasyondan sonraki şarj istasyonları, EA'ya enerji satmaktan ziyade, üretilen elektriğin şebekeye satılması sonucu gelir elde ettiği anlaşılmıştır. Bu sonuçlara göre FV ve batarya boyutlarının tüm kombinasyonları altında senaryo fark etmeksizin indeks 19'a doğru (FV ve batarya boyutlarının en büyüğü) şarj istasyonu kazancının arttığı (~500.000 TL) görülmektedir. EA'ya enerji satmak şebekeye satmaktan daha kârlı olduğu için bu durumda en çok araç gelen ve enerji satan 1. istasyon (~500.000) TL 9. istasyona (~200.000 TL) göre avantajlı durumdadır. Fakat yatırım maliyeti de göz önüne alındığı zaman (bataryaların bakım ve değiştirme vb.) kazanç sağlamadığı görülmüştür. Bunun nedeni, bataryaların belli bir şarj döngüsüne sahip olması ve EA'ların çok güçlü ve sürekli bir şekilde bu yaşam döngüsünü bitirmesi sonucu değişim veya bakım gerektirmesidir. Bu durumda ise, istasyon sayısı arttıkça o istasyona gelen EA sayısı azaldığı için çektikleri güç ve bataryanın şarj döngüsü çok fazla etkilenmemekte ve örneğin 9. istasyon (~150.000 TL) 1. istasyona göre daha kârlı bir duruma geçmektedir. Sadece yenilenebilir enerjiyi şebekeye satar ise kârı (~200.000 TL) civarı olmaktadır. Güneş enerjisi,

sistemdeki kazancı iki senaryo içinde yaklaşık yarı yarıya arttırmaktadır. İstasyon EA'ya sattığından daha fazla para kazandığı için 1. istasyonun amortisman süresinin diğerlerine göre bariz farklı olması beklenmektedir. Fakat istasyonlar arasında büyük bir fark yoktur. Bunun nedeni, hedef ildeki EA sayısının azlığıdır. Araç sayısı arttıkça istasyonlar arasındaki amortisman süresi farkı da artacaktır.

Bu çalışma ile ilgili olarak dikkat edilmesi gereken konu simülasyon modeli oluştururken birçok parametrenin kestirim ve kabuller altında belirlenmiş olmasıdır. Önümüzdeki yıllarda bu parametrelerin öngörülenden farklı olarak değişimi bu çalışmanın sonuçlarını da etkileyecektir. Bu durumda, yine de bu çalışmada sunulan metodoloji takip edilerek daha kesin neticeler elde edilebilir.

Sonuç olarak; yenilenebilir enerji, şebekeden satın alınan enerjiye göre daha az maliyetli olarak enerji üretebilmektedir. Dolayısıyla, bu üretilen enerjinin EA şarj istasyonunda kullanılması, daha yüksek gelir elde edilmesine olanak sağlamaktadır. EA şarj istasyonlarına bataryalı yenilenebilir enerji sistemlerinin entegre edilmesi durumunda, maliyeti çok artırarak sistemin kendini amorti edemediği görülmüştür. Dolayısıyla, yenilenebilir enerji entegrasyonunun bataryasız olarak gerçekleştirilmesi önerilmektedir. Ancak, şebekenin güvenliği açısından bakıldığında, bataryalı sistemlerin şebekeye binen yükü daha da azalttığı görülmüştür. Bu durumda, bataryalı sistemlere ek teşvik verilerek veya bataryaların daha ucuza mal edilmesinin bir yolu bulunarak maliyetlerin azaltılması ve akıllı şehirler kapsamında şarj istasyonlarının kendi aralarında haberleşerek boş olana araçların yönlendirilmesi ile tek bir hattan sürekli güç çekilmemesi, şebeke güvenliği açısından ileriki yıllarda önem kazanacaktır.

5. Teşekkür

Eşarj (İzmir) firmasına, bu çalışma kapsamında verdiği bilgilerden ötürü teşekkür ederiz.

Kaynakça

- Chrysanidis, G., Kosmanos, D., Argyriou, A., & Maglaras, L. (2019). Stochastic optimization of electric vehicle charging stations. *Proceedings-2019 IEEE SmartWorld, Ubiquitous Intelligence and Computing, Advanced and Trusted Computing, Scalable Computing and Communications, Internet of People and Smart City Innovation, SmartWorld/UIC/ATC/SCALCOM/IOP/SCI 2019*, 1–7. <https://doi.org/10.1109/SmartWorld-UIC-ATC-SCALCOM-IOP-SCI.2019.00046>
- Dong, X., Mu, Y., Xu, X., Jia, H., Wu, J., Yu, X., & Qi, Y. (2018). A charging pricing strategy of electric vehicle fast charging stations for the voltage control of electricity distribution networks. *Applied Energy*, 225(92), 857–868. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.05.042>
- EİGM, 2020, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü Denge Tabloları. https://www.eigm.gov.tr/File/?path=ROOT%2f4%2fDocuments%2fDenge+Tablosu%2f2018_Y%c4%b1l%c4%b1_Genel_Enerji_Denge_Tablosu_R1.xlsx (Erişim Tarihi: 01.07.2020)
- Enfsolar, Solar Panel Directory, https://www.enfsolar.com/pv/panel-datasheet/crystalline/41609/138754?utm_source=ENF&utm_medium=panel_list&utm_campaign=enquiry_product_directory&utm_content=4777 (Erişim Tarihi: 30.08.2019).
- Eşarj, <https://esarj.com/urunler> (Erişim Tarihi: 01.10.2019).
- European Commission, Photovoltaic Geographical Information System, <https://re.jrc.ec.europa.eu/> (Erişim Tarihi: 08.10.2019).
- Jian, L., Zheng, Y., Xiao, X., & Chan, C. C. (2015). Optimal scheduling for vehicle-to-grid operation with stochastic connection of plug-in electric vehicles to smart grid. *Applied Energy*, 146, 150–161. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.02.030>
- Jiang, X., Wang, J., Han, Y., & Zhao, Q. (2017). Coordination Dispatch of Electric Vehicles Charging/Discharging and Renewable Energy Resources Power in Microgrid. *Procedia Computer Science*, 107(Icict), 157–163. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.03.072>
- Google Haritalar, Karşıyaka, <https://goo.gl/maps/JcEwvYWXzwBN22XB9> (Erişim Tarihi: 15.11.2019).
- InfiniSolar, Hybrid 10kW PV Inverter User Manual, <http://www.mppsolar.com/manual/MPI%2010K%20HYBRID%203-PHASE/MPI%20HYBRID10KW-manual-20180301.pdf> (Erişim Tarihi: 01.10.2019).
- International Energy Agency, 2018, Global EV Outlook, Organization for Economic Co-operation and Development, France, 139p.
- Konyaloğlu, S. (2014). Tüketicilerin alışveriş merkezi (AVM) tercihlerinde avm yönetiminin önemi.
- Liang, H., Liu, Y., Li, F., & Shen, Y. (2019). Dynamic Economic/Emission Dispatch Including PEVs for Peak Shaving and Valley Filling. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 66(4), 2880–2890. <https://doi.org/10.1109/TIE.2018.2850030>
- Liu, L., Kong, F., Liu, X., Peng, Y., & Wang, Q. (2015). A review on electric vehicles interacting with renewable energy in smart grid. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 648–661. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.036>
- Mohammadi Landi, M., Mohammadi, M., & Rastegar, M. (2018). Simultaneous determination of optimal capacity and charging profile of plug-in electric vehicle parking lots in distribution systems. *Energy*, 158, 504–511. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.06.065>
- Mwasilu, F., Justo, J. J., Kim, E. K., Do, T. D., & Jung, J. W. (2014). Electric vehicles and smart grid interaction: A review on vehicle to grid and renewable energy sources integration. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 34, 501–516. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.03.031>
- Peng, C., Zou, J., & Lian, L. (2017). Dispatching strategies of electric vehicles participating in frequency regulation on power grid: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68(July 2015), 147–152. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.133>
- Resmi Gazete, 2018. Otopark Yönetmeliği (Sayı:30340).
- Resmî Gazete, 2019a, 1044 Sayılı Cumhurbaşkanı Kararı (Sayı: 30770), 2s.

- Resmî Gazete, 2019b, Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği (Sayı: 30772), 16s.
- Saygin, D., Ercumen, Y., Groote, M. De, & Bean, F. M. (2019a). Enhancing Turkey's policy framework for energy efficiency of buildings, and recommendations for the way forward based on international experiences. (June).
- Saygin, D., Tör, O., Teimourzadeh, S., Koç, M., Hildermeier, J., & Kolokathis, C. (2019b). Türkiye ulaştırma sektörünün dönüşümü : Elektrikli araçların Türkiye dağıtım şebekesine etkileri. In SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi. Retrieved from www.shura.org.tr
- Shaukat, N., Khan, B., Ali, S. M., Mehmood, C. A., Khan, J., Farid, U., ... Ullah, Z. (2018). A survey on electric vehicle transportation within smart grid system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81(May 2017), 1329–1349. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.092>
- Tuballa, M. L., & Abundo, M. L. (2016). A review of the development of Smart Grid technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 710–725. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.011>
- Türkiye Cumhuriyeti Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, Elektrik Tarifelerine Esas Tarife Tabloları, <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-1327/elektrik-faturalarina-esas-tarife-tabloları> (Erişim Tarihi: 08.10.2019).
- Wang, H. J., Wang, B., Fang, C., Li, W., & Huang, H. W. (2019). Charging Load Forecasting of Electric Vehicle Based on Charging Frequency. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 237(6). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/237/6/062008>
- Yiğit Akü, Jel VRLA Derin Deşarj Aküler, <https://www.yigitaku.com/wp-content/uploads/2018/07/12V-200Ah-Jel-TR.pdf> (Erişim Tarihi: 30.08.2019).
- Zheng, Y., Niu, S., Shang, Y., Shao, Z., & Jian, L. (2019). Integrating plug-in electric vehicles into power grids: A comprehensive review on power interaction mode, scheduling methodology and mathematical foundation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 112(June), 424–439. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.05.059>



2-(3-Fenil-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on-4-il)-azometin Benzoik Asid Molekülünün Deneysel ve Kuantum Kimyasal Hesaplamaları

Gül Kotan^{1*}, Haydar Yüksek²

¹Kafkas Üniversitesi, KMYO, Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojileri Bölümü, Kars, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4507-9029), gulkemer@hotmail.com

²Kafkas Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Kars, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1289-1800), hhigh61@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 23 Ekim 2020 ve Kabul Tarihi 31 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.813597)

ATIF/REFERENCE: Kotan, G. & Yüksek, H. (2021). 2-(3-Fenil-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on-4-il)-azometin Benzoik Asid Molekülünün Deneysel ve Kuantum Kimyasal Hesaplamaları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 649-659.

Öz

2-(3-Fenil-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on-4-il)-azometin benzoik asit molekülü DFT (B3LYP) ve HF yöntemlerinin 6-311G (d, p) temel seti kullanılarak optimize edilmiştir. Böylece, farklı metotlarla bileşimin en kararlı geometrik yapısı elde edilmiştir. ¹H/ ¹³C-NMR kimyasal kaymalar, titreşim dalga boyları, termodinamik parametreler, moleküler geometrik optimizasyonlar (bağ açıları, bağ uzunlukları), HOMO-LUMO analizleri, elektronik özellikler, mulliken yükleri, dipol momenti, molekülünün toplam enerjisi Gauss 09W paket yazılımı kullanılarak incelenmiştir. Gaussian sonuçları GaussView5.0 programı ile grafiksel olarak çizilmiştir. Tüm kuantum kimyasal hesaplamalar, 6-311G (d,p) temel setinde DFT yönteminin B3LYP fonksiyonu ve HF ile gerçekleştirildi. ¹³C/ ¹H Nükleer Manyetik Rezonans spektral değerleri, gaz fazında ve DMSO solventinde GIAO yöntemine göre hesaplanmıştır. Molekülün teorik spektral değerleri, literatürden elde edilen deneysel verileri ile karşılaştırılmıştır. Veda4f programında titreşim türleri belirlenmiş ve harmonik titreşim frekansları farklı yöntemlerin belli skala faktörleri ile skala edilmiştir. Ayrıca termodinamik özellikler (ısı kapasitesi CV^0 , entropi S^0 ve entalpi H^0), elektronik özellikler (elektronegatiflik (χ), elektron ilgisi (A), küresel sertlik (η), yumuşaklık (σ), $E_{LUMO}-E_{HOMO}$ enerji boşluğu (ΔE_g) ve iyonlaşma potansiyeli (I) hesaplanmıştır. Ayrıca, elektron spin potansiyeli (ESP), moleküler elektrostatik potansiyel (MEP), toplam yoğunluk, elektron yoğunluğu, molekülün elektrostatik potansiyeli gibi moleküler yüzeyler görselleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: 1,2,4-Triazol, B3LYP, HOMO-LUMO, GIAO.

Experimental and Quantum Chemical Calculations of 2-(3-Phenyl-4,5-dihydro-1H-1,2,4-triazol-5-on-4-yl)-azomethine) Benzoic Acid Molecule

Abstract

2-(3-Phenyl-4,5-dihydro-1H-1,2,4-triazol-5-on-4-yl)-azomethine) benzoic acid molecule has been optimized using the 6-311G(d,p) basis set of DFT(B3LYP) and HF methods. Thus, the most stable geometrical conformer of the compound with different methods was obtained. ¹H/ ¹³C-NMR chemical shifts, vibrational wavenumbers, thermodynamic parameters, molecular geometric optimizations (bond angles, bond lengths), HOMO-LUMO analyses, electronic properties, mulliken charges, dipole moment, total energy of the molecule were studied using Gaussian 09W software package. Gaussian results are drawn graphically with GaussView5.0 program. All quantum chemical computations were performed in the B3LYP functional of DFT method ve HF at the 6-311G(d,p) basis set. ¹H/ ¹³C Nuclear magnetic Resonance spectral values were calculated in gas phase and in DMSO solvent according to GIAO method. Theoretical spectral values of the molecule were compared with experimental data obtained from the literature. In the Veda4f program, vibration types were determined and harmonic vibration frequencies were scaled with certain scale factors of different methods. In addition, thermodynamics properties (heat capacity CV^0 , entropy S^0 and enthalpy H^0), electronic properties (electronegativity (χ), electron affinity (A), global hardness (η), softness (σ), $E_{LUMO}-E_{HOMO}$ energy gap (ΔE_g) and ionization potential (I) were calculated. Also, the molecular surfaces such as the electron spin potential (ESP), molecular electrostatic potential (MEP), the total density, the electron density, the electrostatic potential of the molecule were visualized.

Keywords: 1,2,4-Triazole, B3LYP, HOMO-LUMO, GIAO.

* Sorumlu Yazar: gulkemer@hotmail.com

1. Giriş

-C=N- (azometin) grubu içeren Schiff bazları organik kimyada önemli bileşiklerdir. Bu bileşikler genellikle yapısında karbonil (C=O) grubu taşıyan bileşikler ile aktif bir aminin (-NH₂) uygun şartlarda kondenzasyonu ile sentezlenmektedir. 1,2,4-triazol içeren Schiff bazlarının antioksidan (Gürbüz ve ark., 2020), antibakteriyel (Goszczyńska ve ark., 2015; Aktaş Yokuş ve ark., 2017), antifungal (Sumangala ve ark., 2013), antiinflamatuvar (Hunashal ve ark., 2014), antitüberküloz (Hearn ve ark., 2009), antitümör (Guo-Qiang ve ark., 2008), antimikrobiyal (Ben Salah ve ark. 2015), antikonvülsant (Mohammad ve ark., 2010) ve herbisidal aktiviteler (Zhang & Shi, 2014) gibi geniş biyolojik özellikleri kaydedilmiştir. Ayrıca Schiff bazı bileşiklerin metal kompleksleri biyolojik aktivite yönünden daha kayda değer sonuçlar sağlamaktadır (Neelakantan ve ark., 2010). Aromatik aminler ile sentezi yapılan bileşiklerin kanser tedavisinde oksijen taşıyıcı rolü vardır ve tüm bunlara ek olarak bu bileşikler, antibiyotikler başta olmak üzere birçok ilacın yapısında, tarım ve böcek ilaçlarında, polimer ve boya endüstrisinde önemli bir rol oynamaktadır (Serin ve ark., 1988). Son zamanlarda moleküler sistemlerin yapısal, spektroskopik, termodinamik ve elektronik özelliklerini teorik olarak hesaplamak için kuantum kimyasal hesaplama yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Kuantum kimyasal hesaplama yöntemleri deneysel, yapısal ve spektroskopik çalışmaları destekler niteliktedir. Bu nedenle Schiff bazlarının teorik olarak bazı parametrelerinin incelenmesi özellikle spektral verilerin deneysel veriler ile mukayese edilmesi yönünden

avantaj sağlamaktadır ve bu yönde bir çok çalışma literatürde yer almaktadır (Zacharias ve ark., 2018; Sarac, 2020; Kotan ve ark., 2020; Şen ve ark., 2017; Beytur ve ark., 2019).

Bu çalışmada, hedef molekülün tüm teorik parametreleri kuantum kimyasal hesaplama yöntemlerinden Hartree Fock ve Yoğunluk Fonksiyonel Alan teorisinin B3LYP (Lee-Yang-Parr korelasyon) fonksiyonu ile 6-311G (d,p) temel seti kullanılarak yapılmıştır (Frisch ve ark., 2009; Wolinski ve ark., 1990). Hesaplama aşamasında ilk olarak molekülün en kararlı formuna ulaşabilmek için molekül optimize edilmiştir ve diğer tüm teorik hesaplamalar optimize yapı kullanılarak yapılmıştır. Literatürde (Yüksek ve ark., 2006) var olan molekülün deneysel nükleer manyetik rezonans (¹H/ ¹³C-NMR) kimyasal kayma değerleri ve IR titreşim frekans değerleri hesaplama değerleri ile karşılaştırılmıştır ve bu verilere göre hesapsal spektrumlar çizilmiştir (Wolinski ve ark., 1990; Jamróz, 2004). Ayrıca, bağ parametreleri olan bağ uzunlukları ve açıları hesaplanmıştır. Termodinamik ve elektronik özellikler, Mulliken atomik yükler aynı temel set ve metotlar ile hesaplanmıştır (Mulliken, 1955). Bunlara ek olarak, molekülün elektron spin potansiyeli (ESP), moleküler elektron potansiyel (MEP), toplam yoğunluk ve contour haritaları çizilmiştir. Yüksek enerjili dolu moleküler orbital enerjisi (HOMO) ile düşük enerjili boş moleküler orbital enerjisi (LUMO) değerleri ve orbital şekilleri elde edilmiş ayrıca bu orbitallerin enerji farkları (ΔE_g) hesaplanmıştır. ΔE_g değeri ne kadar küçükse orbitaller arası etkileşim o kadar iyi oranda olacaktır ve kimyasal reaksiyona girme eğilimleri yüksek olacaktır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Deneysel

Tablo 1. Deneysel IR, ¹H/ ¹³C-NMR Analizi (Yüksek ve ark., 2006)

IR Verileri (KBr, cm-1)				
ν_{NH}	$\nu_{C=O}$	$\nu_{C=N}$	$\nu_{1,2-disubstitue\ Benzen\ halkası}$	$\nu_{mono-substitue\ Benzen\ halkası}$
3221	1705	1589	762	759.689
¹ H-NMR (δ/ppm , DMSO-d ₆)				
Aromatik H			=CH	-NH
7.44-7.52 (m, 3H), 7.59-7.65 (m, 2H), 7.85-7.95 (m, 4H)			10.39 (s)	12.40 (s)
¹³ C-NMR (δ/ppm , DMSO-d ₆)				
C=O	Triazol C5	Triazol C3	Aromatik C	
167.81	155.24	144.67	126.49, 126.64, 127.32, 127.96, 128.18, 128.42, 130.03, 130.31, 130.92, 132.01, 132.25, 133.37	
				=CH
				151.18

2.2. Hesaplama Metotları

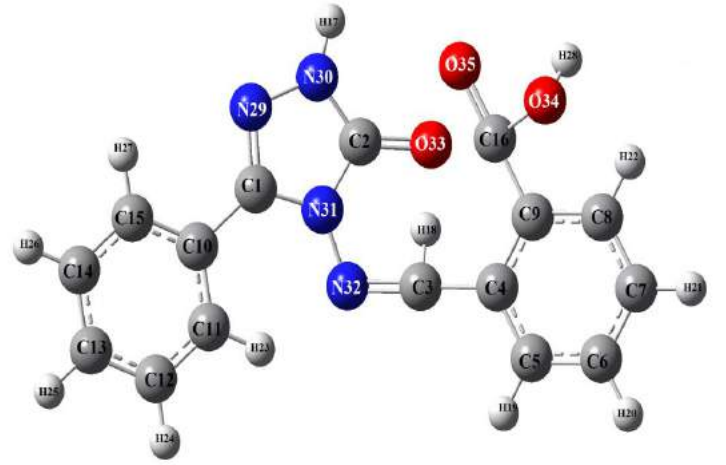
Çalışma için literatürde kayıtlı olan molekülün, öncelikle bilgisayar ortamında üç boyutlu Gauss-view görüntüsü Gaussview 5.0 programında oluşturulmuştur (Dennington ve ark., 2009). Molekül 6-311G(d,p) temel seti ve DFT/HF metotları için ayrı ayrı optimize edilmiştir (Frisch ve ark., 2009). Optimize yapıda bulunan herbir atoma verilen numaralar ile atomların kararlı dizilişlerinin var olduğu optimize yapı numaralandırılmıştır. Sonra optimize yapı için teorik olarak tüm parametreler belirtilen metotlar ve set ile hesaplanmıştır. Kuantum kimyasal hesaplamalarda daha belirgin ve daha güvenilir sonuçlar veren Yoğunluk Fonksiyonel Alan teorisi ve bunun yanı sıra sonuçları kıyaslama açısından Hatree Fock teorisi maddenin tüm hesapsal çalışmalarını yapmak için kullanılmıştır. Ayrıca temel set olarak 6-311G(d,p) setinde tüm hesaplamalar yapılmıştır. Seçilen temel set diğer setler (3-21G, 6-31G gibi) arasında deneysel verilere en yakın değerleri sunan settir ancak diğer temel setlere kıyasla hesaplama süresi oldukça uzundur.

Deneysel verilerle kıyaslanması mümkün olan proton/karbon nükleer manyetik rezonans kimyasal kayma değerlerini hesaplayabilmek için "GIAO" metodu kullanılmıştır (Wolinski ve ark., 1990). Çözücü (DMSO) varlığında ve gaz fazında hesaplanan ^{13}C ve ^1H NMR sayısal değerleri ile literatürden elde edilen deneysel değerler karşılaştırılarak regrasyon analizleri yapılmıştır ve bunun sonucunda regresyon grafikleri çizilerek R^2 değerleri hesaplanmıştır. R^2 değerleri kıyaslanarak hangi metodun deneysel verilere daha yakın sonuçlar verdiği tartışılmıştır. Ayrıca yapı karakterizasyonu için kullanılan bir analiz yöntemi de infrared (IR)'dir. Molekülün IR harmonik titreşim frekans değerleri "Veda4f" programı ile hesaplanmıştır (Jamróz, 2004). Hesapsal IR değerleri herbir yöntem ve temel set için farklılık gösteren skala faktörleri ile çarpılarak skalalı titreşim frekans değerleri elde edilmiştir (Merrick, 2007). Bu veriler kullanılarak teorik olarak oluşturulan spektrumlar deneysel IR titreşim frekans spektrumları ile kıyaslanarak spesifik piklerin değerleri kıyaslanmıştır. Son olarak hedef molekülün MEP, ESP, elektron potansiyeli ve elektron yoğunluk potansiyeli contour haritaları, toplam yoğunluk gibi yüzey şekilleri belirlenmiştir. Dipol moment (μ), termodinamik parametreleri, "HOMO-LUMO" enerjileri ve farkı (ΔE_g), geometrik özellikleri, elektronegativite (χ), kimyasal sertlik (η) ve yumuşaklık (S), iyonlaşma potansiyeli (I), Elektron ilgisi (A) gibi kuantum moleküler uygulamaları ve toplam enerji değerleri DFT(B3LYP) ve HF yöntemi ile 6-311G(d,p) temel seti ile hesaplanmıştır.

3. Bulgular

3.1. Moleküler Geometri Hesaplamaları

Temel halde ve gaz ortamında atomların düşük enerjili en kararlı hali molekülün geometrik optimizasyon halidir. Molekülün optimize hali DFT(B3LYP) ve HF metotlarıyla 6-311G(d,p) baz seti kullanılarak oluşturulmuştur ve Şekil.1'de gösterildiği gibidir. Atomların dizilişi bakımından kararlı optimize yapıdan yola çıkarak molekülün bağ uzunluğu ve bağ açısı bulunmuştur. Hesaplamalarla elde edilen veriler, literatürde yer alan bazı uzunluk ve açı değerleriyle mukayese edilmiştir. DFT(B3LYP) / HF için sırası ile 6-311G(d,p) seti ile hesaplanan C1-N29; C1-N31; C2-N30; C2-N31; C3-N32 bağ uzunlukları 1.302, 1.269; 1.396, 1.384; 1.368; 1.346; 1.422, 1.390; 1.285, 1.256 Å olarak bulunmuştur ve Tablo 1'de gösterilmiştir. Literatüre kayıtlı bağ uzunlukları ise C=N; 1.27 Å ve C-N; 1.47 Å'dur (Ocak ve ark., 2003; Ustabaş ve ark., 2007). Yapıda mevcut olan benzen halkasındaki C-C ve C-H uzunlukları da literatürde olan uzunluklarla kıyaslanmıştır. Buna göre benzen halkasının B3LYP ve HF için 6-311G(d,p)/ 6-311G(d,p) seti ile elde edilen verilere göre sırası ile C-C bağ uzunlukları ortalama değerleri 1.39, 1.38; C-H ortalama bağ uzunluğu ise 1.08, 1.07 Å olarak hesaplanmıştır. Benzen halkasındaki C-C bağ uzunluklarının literatürdeki değerleri ise, 1.39 Å ve C-H; 1.08 Å olarak ölçülmüştür (Sudha ve ark., 2018). DFT(B3LYP)/ HF metodu ve 6-311G (d,p) seti ile hesaplanan bağ uzunluklarının sayısal verileri ile literatürden sağlanan verilerin mukayesesi sonucunda değerlerin aynı yada birbirine çok yakın olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 1. 2-(3-Fenil-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on-4-il)-azometin benzoik asit numaralandırılmış optimize moleküler yapısı

Tablo 2. Bileşiğin DFT/B3LYP ve HF 6-311G(d,p) temel setleri ile hesaplanmış bağ uzunlukları (Å) ve bağ açıları (°)

Bağ Uzunlukları	B3LYP	HF	Bağ Açıları	B3LYP	HF
C(1)-N(29)	1.302	1.269	N(29)-C(1)-N(31)	110.679	110.928
C(1)-N(31)	1.396	1.384	N(29)-N(30)-H(17)	120.404	120.938
C(1)-C(10)	1.469	1.477	H(17)-N(30)-C(2)	125.036	125.371
N(29)-N(30)	1.371	1.364	N(30)-C(2)-O(33)	129.976	129.558
N(30)-H(17)	1.006	0.990	O(33)-C(2)-N(31)	128.733	128.402
N(30)-C(2)	1.368	1.346	N(30)-C(2)-N(31)	101.279	102.033
C(2)-N(31)	1.422	1.390	N(31)-C(1)-C(10)	126.775	125.856
C(2)-O(33)	1.213	1.193	C(1)-C(10)-C(11)	122.991	122.219
N(31)-N(32)	1.371	1.368	C(10)-C(11)-H(23)	119.942	120.288
C(10)-C(11)	1.401	1.389	C(10)-C(11)-C(12)	120.107	120.014
C(11)-H(23)	1.079	1.071	C(11)-C(12)-H(24)	119.407	119.552
C(11)-C(12)	1.392	1.383	H(24)-C(12)-C(13)	120.085	120.152
C(12)-H(24)	1.084	1.075	C(12)-C(13)-H(25)	120.185	120.065
C(12)-C(13)	1.392	1.384	H(25)-C(13)-C(14)	120.176	120.087
C(13)-H(25)	1.084	1.075	C(13)-C(14)-H(26)	120.136	120.204
C(13)-C(14)	1.394	1.385	H(26)-C(14)-C(15)	119.650	119.735
C(14)-H(26)	1.084	1.075	C(14)-C(15)-H(27)	120.622	10.416
C(14)-C(15)	1.388	1.382	H(27)-C(15)-C(10)	118.925	119.313
C(15)-H(27)	1.082	1.073	N(31)-N(32)-C(3)	118.664	118.516
C(15)-C(10)	1.403	1.390	N(32)-C(3)-H(18)	122.857	123.030
N(32)-C(3)	1.285	1.256	H(18)-C(3)-C(4)	119.343	118.999
C(3)-H(18)	1.080	1.069	C(3)-C(4)-C(5)	118.905	118.575
C(3)-C(4)	1.475	1.487	C(3)-C(4)-C(9)	122.710	122.733
C(4)-C(5)	1.402	1.389	C(4)-C(5)-H(19)	118.076	118.695
C(4)-C(9)	1.402	1.389	H(19)-C(5)-C(6)	120.539	120.272
C(5)-H(19)	1.082	1.072	C(4)-C(5)-C(6)	121.380	121.031
C(5)-C(6)	1.387	1.382	C(5)-C(6)-H(20)	119.716	119.611
C(6)-H(20)	1.084	1.075	H(20)-C(6)-C(7)	120.215	120.198
C(6)-C(7)	1.393	1.382	C(5)-C(6)-C(7)	120.064	120.188
C(7)-H(21)	1.083	1.074	C(6)-C(7)-H(21)	120.469	120.509
C(7)-C(8)	1.388	1.381	H(21)-C(7)-C(8)	119.957	119.960
C(8)-H(22)	1.081	1.071	C(7)-C(8)-H(22)	120.233	120.017
C(8)-C(9)	1.401	1.389	H(22)-C(8)-C(9)	118.763	119.207
C(9)-C(16)	1.490	1.491	C(7)-C(8)-C(9)	121.000	120.773
C(16)-O(34)	1.356	1.326	C(9)-C(16)-O(34)	126.023	125.145
C(16)-O(35)	1.208	1.184	O(34)-C(16)-O(35)	121.370	121.684
O(34)-H(28)	0.968	0.945	C(16)-O(34)-H(28)	105.862	107.906

3.2. Mulliken Atom Yük Verileri

Molekülde var olan C, H, N ve O atomlarının mulliken yük değerleri B3LYP ve HF metotları ve 6-311G(d,p) temel seti ile hesaplanmıştır (Mulliken, 1955). Bu hesaplamada "C1, C2, C3, C16" atomları hesaplama metotları ve setine göre pozitif mulliken yük değerindeyken, diğer karbon atomları negatif değerde bulunmuştur. Bunun nedeni, C1 ve C16 atomlarının komşu iki tane elektronegatif N atomu; C2 atomunun komşu üç tane elektronegatif N atomu; C3 atomunun ise komşu bir tane N atomunun olmasıdır. Ayrıca N29, N30, N31, N32 atomlarının mulliken atomik yükleri negatif değerlerde çıkarken, moleküldeki tüm protonların mulliken yükleri her iki yönetime göre pozitif olarak hesaplanmıştır. Bunu şöyle açıklayabiliriz, azot atomu elektronegatif atom olduğu için komşu atomlardan kolaylıkla elektron çekerek negatif mulliken yüke sahip olmuştur, ancak H atomları bunun tam aksine elektropozitifdir elektron vererek artı mulliken yük ile yüklenmiştir ve verilerin tümü Tablo 3'de listelenmiştir.

Tablo 3. Bileşiğin B3LYP ve HF 6-311G(d,p) ile hesaplanmış mulliken atom yükleri

	DFT	HF		DFT	HF
C1	0.421	0.556	H20	0.106	0.110
C2	0.523	0.712	H21	0.104	0.107
C3	0.133	0.224	H22	0.114	0.124
C4	-0.090	-0.090	H23	0.109	0.110
C5	-0.032	-0.046	H24	0.097	0.102
C6	-0.075	-0.062	H25	0.097	0.102
C7	-0.081	-0.088	H26	0.098	0.102
C8	-0.019	-0.011	H27	0.104	0.111
C9	-0.169	-0.232	H28	0.257	0.281
C10	-0.114	-0.044	N29	-0.225	-0.283
C11	-0.022	-0.095	N30	-0.303	-0.376
C12	-0.107	-0.088	N31	-0.401	-0.506
C13	-0.079	-0.087	N32	-0.205	-0.245
C14	-0.097	-0.059	O33	-0.375	-0.519
C15	-0.030	0.281	O34	-0.333	-0.421
C16	0.400	0.605	O35	-0.335	-0.458
H17	0.251	0.260			
H18	0.165	0.182			
H19	0.113	0.119			

3.3. HOMO-LUMO Enerjileri ve Elektronik Özellikleri

HOMO-LUMO gibi Frontier Moleküler orbitalleri (FMO) moleküldeki elektron geçişlerini ve molekülün kimyasal reaktivitesini belirlemede bize yardımcı olur (Fukui, 1982). LUMO düşük enerjili boş moleküler orbitali, HOMO ise yüksek enerjili dolu moleküler orbitali ifade eder. Ayrıca "LUMO" elektron alan, "HOMO" elektron veren orbital olarak bilinir. Bu orbitaller arasındaki enerji boşluğu " ΔE " önemlidir ve ne kadar düşüğe molekül daha kararlıdır. Molekülün B3LYP, HF 6-311G(d,p) HOMO-LUMO enerjileri teorik olarak bulunmuştur. B3LYP/6-311G(d,p) için $\Delta E = 4.0835$ eV, HF/6-311G(d,p) için $\Delta E = 9.9398$ eV olarak hesaplanmıştır ve Şekil 2' de gösterilmiştir. Bunlara ek olarak, ΔE değeri kullanılarak denklem 1-9' da belirtilen elektronik parametreler hesaplanmıştır.

Elektron ilgisi (A), İyonlaşma potansiyeli (I), Enerji farkı (ΔE), Elektronegativite (χ), Kimyasal potansiyel (μ), Elektrofilik indeks (ω), Nükleofilik indeks (IP), Kimyasal yumuşaklık (S), Kimyasal sertlik (η) gibi elektronik tüm özellikler hesaplanmıştır ve Tablo 4'de değerleri gösterilmiştir. İyonlaşma potansiyeli (I) 6.43941 eV'dur ve bu değer yüksek enerjili dolu moleküler orbitalden (HOMO) bir elektron koparmak için 6.43941 eV'luk enerji gereklidir.

Elektron ilgisinin (A) değeri 2.3559 eV'dur ki bu değer düşük olması nükleofil yapılar ile reaktivitenin yüksek olması demektir. Ayrıca yüksek kimyasal sertlik (η) 2.0417 eV ve düşük yumuşaklık (S) 0.2448 eV değerleri molekülün yüksek sertlikte olduğunu ifade eder. Son olarak, elektrofilik indeks (ω) molekülün biyolojik aktivitesinin açıklanmasında bize yol gösterir.

$$I = -E_{\text{HOMO}} \quad (1)$$

$$A = -E_{\text{LUMO}} \quad (2)$$

$$\Delta E = (E_{\text{LUMO}} - E_{\text{HOMO}}) \quad (3)$$

$$\eta = (I - A) / 2 \quad (4)$$

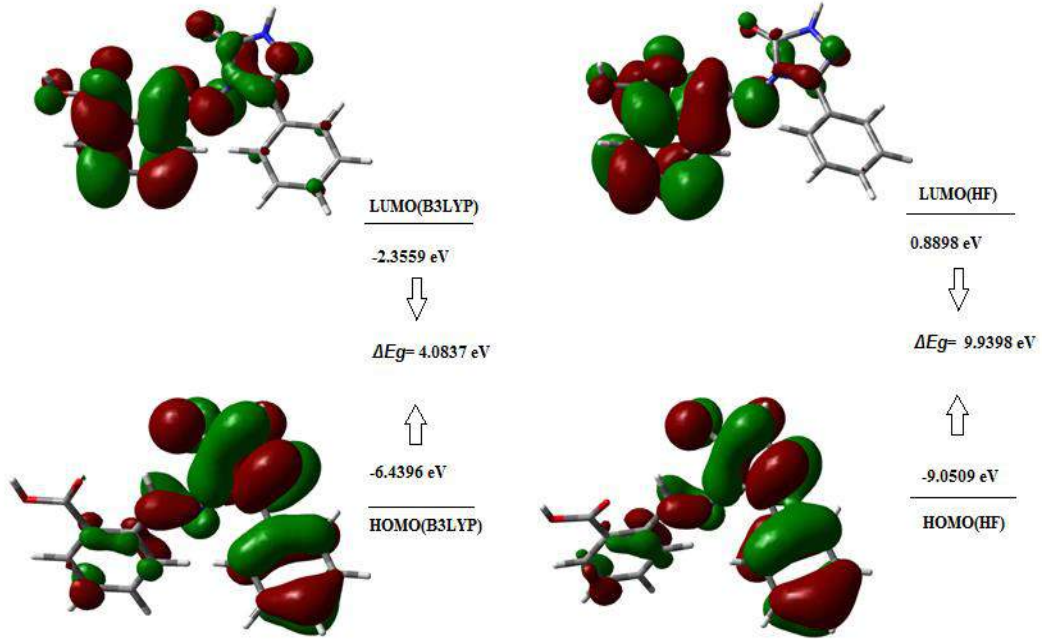
$$\sigma = 1/\eta \quad (5)$$

$$\chi = (I + A) / 2 \quad (6)$$

$$Pi = -\chi \quad (7)$$

$$\omega = Pi^2 / 2\eta \quad (8)$$

$$\varepsilon = Pi \cdot \eta \quad (9)$$



Şekil 2. Bileşiğin B3LYP/HF 6-311G(d,p) seviyesine göre HOMO-LUMO enerjileri

3.4. Termodinamik Özellikler

Entropi: S (cal/molK), Entalpi: E(Kcal/mol), Isı Kapasitesi: CV(Cal/Mol-Kelvin) değerleri bir kimyasal reaksiyonda bilinmesi gereken önemli termodinamik parametrelerdir. Ancak bunların deneysel ölçümleri reaksiyonun türüne göre değişen zorluklarda olabilmektedir bu nedenle teorik olarak 298.15 K'de

ve 1 atm basınçta termodinamik özellikler hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda görüldü ki, molekülün B3LYP, HF 6-311G(d,p) ile hesaplanan Entropi: S= 146.364/ 142.094 cal/molK, Entalpi: E= 175.943/ 187.788 Kcal/mol, Isı Kapasitesi: CV= 72.024/ 66.830 (Cal/Mol-Kelvin) ve sıfır noktasında titreşim enerji değerleri 164.19720/ 176.73255 Tablo 5' de gösterilmiştir.

Tablo 4. Bileşiğin B3LYP/ HF 6-311G(d,p) ile hesaplanmış elektronik özellikleri

Elektronik Özellikler	B3LYP/6-311G(d,p)
LUMO (eV)	-2.3559
HOMO (eV)	-6.4394
$\Delta E_g = E_{HOMO} - E_{LUMO}$	4,0835
Elektron ilgisi (A)	2,3559
İyonlaşma potansiyeli (I)	6,4394
Elektronegativite (γ)	4,3976
Kimyasal potansiyel (μ)	-4,3976
Elektrofilik indeks (ω)	4.7359
Kimyasal yumuşaklık (S)	0,2448
Kimyasal sertlik (η)	2,0417

Tablo 5. Bileşiğin termodinamik özellikleri

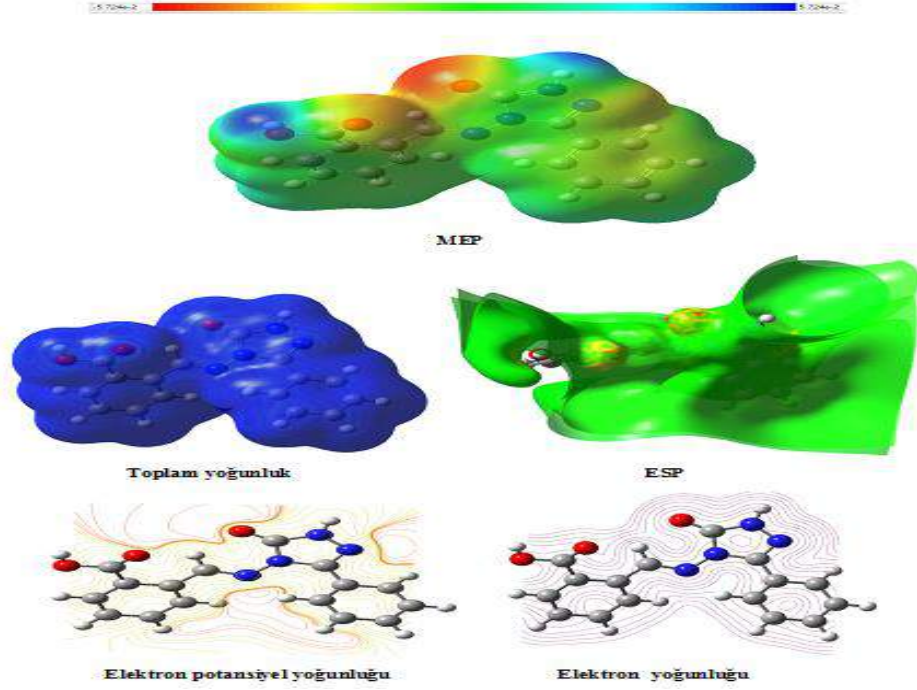
Dönme Sıcaklık Sabitleri (Kelvin)	DFT	HF
A	0.01950	0.01896
B	0.00745	0.00764
C	0.00583	0.00618
Dönme Sabitleri (GHZ)		
A	0.40632	0.39501
B	0.15515	0.15917
C	0.12155	0.12868
Entalpi E(kcal/mol)		
Dönme	0.889	0.889
Ötelenme	0.889	0.889
Titreşim	174.165	186.011
Toplam	175.943	187.788
Isı Kapasitesi CV(cal/mol-K)		
Dönme	2.981	2.981
Ötelenme	2.981	2.981
Titreşim	66.063	60.869
Toplam	72.024	66.830
Entropy S(cal/mol-K)		
Dönme	43.072	43.072
Ötelenme	34.994	34.940
Titreşim	68.298	64.082
Toplam	146.364	142.094
Sıfır noktası ısı sabiti (Hartree/Particle)	0.261665	0.281641
Enerji ısı sabiti	0.280383	0.299260
Entalpi ısı sabiti	0.281327	0.300204
Serbest Gibbs Enerjisi ısı sabiti	0.211784	0.232690
Elektronik ve sıfır nokta Enerjilerinin toplamı	-1061.601444	-1055.216725
Elektronik ve Termal enerjinin toplamı	-1061.582727	-1055.199107
Elektronik ve termal enerjilerin toplamı	-1061.581782	-1055.198162
Elektronik ve Termal Serbest Enerjilerin Toplamı	-1061.651325	-1055.265676
Sıfır nokta titreşim enerjisi (Kcal/mol)	164.19720	176.73255

3.5. Yüzey Haritaları

Moleküler elektrostatik potansiyel (MEP) boşlukta molekülün atomlarının elektrofilik ve nükleofilik bölgelere ayrılmasıyla oluşur. MEP analizi molekülün biyolojik tanımlamalarında ve molekül içi hidrojen bağlarının bağlanış yerlerinin belirlenmesinde, ayrıca elektronca yoğun ve az olan bölgelerin belirlenmesinde kullanılır. MEP molekülün nispi polaritesini anlamak için görsel bir yöntem sağlar (Choi & Kertesz, 1998). MEP elektronik yoğunluklarla ilişkilidir ve hidrojen bağı etkileşim bölgelerini, elektrofilik ve nükleofilik reaksiyon bölgelerini belirlemek için büyük fayda sağlar (Murray ve ark., 1999). Elektrostatik enerji dipol moment, elektronegativite, parçacık yükleri ve molekülünde enerjinin

dağılımını açıklar. Bunun için çalışılan molekülün B3LYP/ HF metotlarının 6-311G(d,p) temel seti ile MEP haritası çizilerek molekülün elektrofilik ve nükleofilik bölgeleri belirlenmiştir. Elektrostatik enerjinin farklı değerleri farklı renkler ile gösterilir. Kırmızı çok negatif elektrostatik enerjinin olduğunu, mavi çok pozitif elektrostatik enerjinin bulunduğu anlamına gelir. MEP haritası incelendiğinde, O33 ve O35 atomlarının bulunduğu bölge kırmızı, N30-H17 ile O34-H28 atomlarının bulunduğu bölge mavi renkte iken, diğer bölgeler sarı-yeşil renktedir.

Ayrıca molekülün elektron spin potansiyeli, toplam yoğunluk, elektron potansiyel yoğunluğu ve elektron yoğunluğu gibi yüzey haritaları oluşturulmuştur ve Şekil 3' de gösterilmiştir.



Şekil 3. Bileşiğin B3LYP/6-311G(d,p) seviyesine göre yüzey haritaları

3.6. IR Analizi

Teorik olarak çalışılan molekülün titreşim frekans değerleri de B3LYP/ HF6-311G(d,p) temel seti ile hesaplanmıştır ve elde edilen hesapsal titreşim frekans değerleri her yönetime ve temel sete göre farklılık gösteren skala faktörleri ile çarpılarak skalalı değerler elde edilmiştir (Merrick, 2007). Ayrıca skalalı teorik titreşim frekans değerleri ve deneysel veriler karşılaştırılarak çalışılan yöntemlerin deneyselle uygunluğu tartışılmıştır. Deneysel N-H gerilme titreşimi 3221 cm^{-1} 'de, B3LYP /6-311G(d,p) ile 3562 cm^{-1} 'de, HF/6-311G(d,p) ile 3226 cm^{-1} 'de; deneysel O-H gerilme titreşimi 3310 cm^{-1} 'de, B3LYP /6-311G(d,p) ile 3652 cm^{-1} 'de, HF/6-311G(d,p) ile 3308 cm^{-1} 'de;

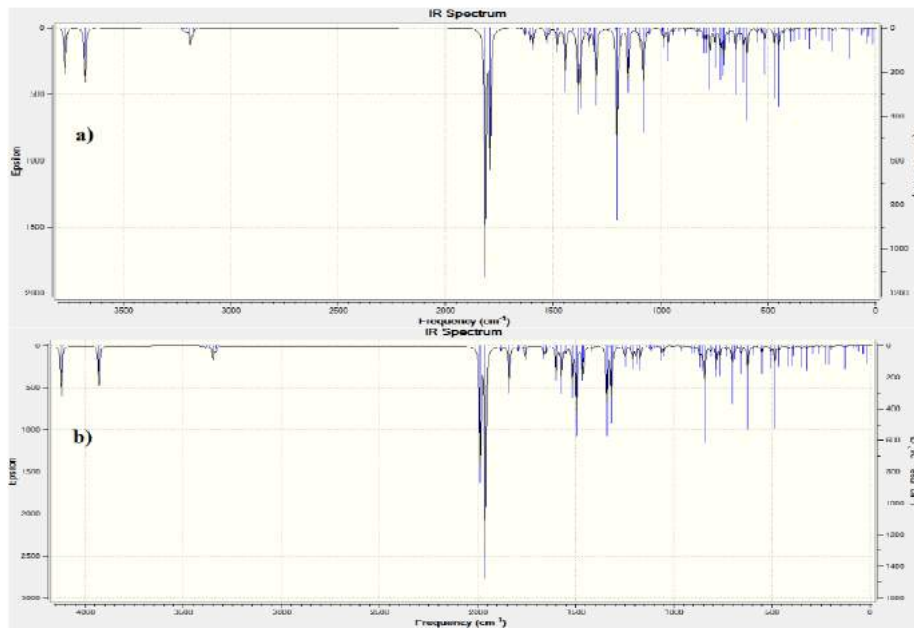
deneysel C=O gerilme titreşimi 1705 cm^{-1} 'de, B3LYP /6-311G(d,p) ile 1737 cm^{-1} 'de, HF/6-311G(d,p) ile 1573 cm^{-1} 'de; deneysel N=C gerilme titreşimi 1589 cm^{-1} 'de, B3LYP /6-311G(d,p) ile 1580 cm^{-1} 'de, HF/6-311G(d,p) ile 1432 cm^{-1} 'de; iki süstitüent takılı benzen halkasındaki aromatik deneysel C-H gerilme titreşimleri 762 cm^{-1} 'de, B3LYP/6-311G(d,p) ile 746 cm^{-1} 'de, HF/6-311G(d,p) ile 676 cm^{-1} 'de; tek süstitüent takılı benzen halkasındaki aromatik deneysel C-H gerilme titreşimleri 759, 689 cm^{-1} 'de, B3LYP/6-311G(d,p) ile 763 cm^{-1} 'de, HF/6-311G(d,p) ile 691 cm^{-1} 'de gözlenmiştir ve Tablo 6' da gösterilmiştir. Ayrıca teorik olarak infrared spektrumları çizilmiştir ve Şekil 4'de gösterilmiştir.

Tablo 6. Molekülün titreşim frekans değerleri ve türleri

Titreşim Frekansları	skalalı dft	skalalı hf
τ CNNC(28), τ CCCN(29)	12	11
τ CNNC(21)	31	28
τ CCCN(14), τ OCCC(26), τ CNNC(13)	36	33
δ CCN(11), τ CNNC(20)	62	56
τ NNCN(22), τ NNCC(19), τ CCCC(15)	79	71
τ CCCN(14), τ OCCC(14)	106	96
τ CNNC(36)	119	108
δ NCC(10), τ CCCN(13), τ CCCC(20)	126	114
δ CCC(15)	178	161
δ NCN(16), τ CCCN(14), τ CCCC(14)	192	174
τ NNCN(14)	241	218
δ OCC(25), δ CCC(25)	268	242
ν CC(11), δ HCC(28), τ HNNC(10), τ NNCN(15)	299	271
τ CCCN(13), τ CCNN(26)	345	312
ν CC(24), δ CCC(13)	368	333
δ NCC(10), δ CCC(13)	384	348
τ HCCC(17), τ CCCC(75)	401	363
τ CCCN(14), τ CCCC(10)	413	374
δ OCN(11), τ HNNC(19)	436	395
τ HNNC(29)	456	413
τ HNNC(19), τ CCCC(17)	500	453
τ HCCC(11), τ NCCC(16)	511	463

$\delta OCC(24), \delta CCC(10)$	534	484
$\tau HOCC(82)$	579	524
$\delta CCC(22)$	594	538
$\delta NCC(13), \delta OCN(23)$	610	553
$\delta CCC(15)$	615	558
$\delta OCO(42), \delta CCC(11)$	629	570
$\delta CCC(24)$	663	600
$\tau HCCC(16), \tau NNCN(16), \tau NNCC(29)$	683	619
$\tau HCCC(22), \tau CCCC(21)$	685	621
$\tau HCCC(10), \tau ONNC(17), \tau CCCC(10)$	698	632
$\tau ONNC(41)$	722	654
$\tau HCCC(17)$	728	659
$\tau HCCC(36)$	746	676
$\tau HCCC(16), \tau NNCC(10), \tau CCCC(19)$	763	691
$\delta CNN(26)$	775	702
$\tau HCCC(25), \tau ONNC(25), \tau CCCC(17)$	793	718
$v NC(11), v NN(14), \delta NCN(10)$	804	728
$\tau HCCC(99)$	832	753
$\delta CCN(14)$	858	777
$\tau HCCC(26)$	884	801
$\tau HCCC(31)$	912	826
$\delta CCC(27), \tau HCNN(14)$	934	846
$\tau HCNN(45), \tau HCCC(13)$	953	863
$\tau HCCC(71), \tau CCCC(10)$	958	868
$\tau HCNN(27), \tau HCCC(25)$	962	872
$\tau HCCC(40), \tau CCCC(28)$	975	884
$\tau HCCC(38)$	983	891
$v CC(38), \delta CCC(12)$	986	893
$v CC(22), \delta HCC(22), \delta CCC(14)$	1019	924
$v CC(43), \delta HCC(17)$	1036	939
$v OC(31), \delta CCC(14)$	1046	948
$v CC(14), v NN(20)$	1063	963
$v CC(10), v NN(13), \delta HCC(16)$	1080	978
$v CC(13), v OC(12), \delta HCC(23)$	1115	1010
$\delta NCN(10)$	1116	1011
$v CC(13), \delta HCC(38)$	1147	1039
$v CC(12), \delta HCC(74)$	1152	1044
$v CC(18), \delta HOC(36), \delta HCC(10)$	1165	1055
$v NC(16), v NN(12), \delta HCC(19)$	1167	1057
$\delta HCC(56)$	1171	1061
$v NC(10), v CC(12)$	1201	1088
$v NN(16), \delta HCC(15)$	1258	1139
$v CC(11), \delta HCC(28)$	1267	1147
$v CC(30), \delta HCC(16)$	1287	1166
$v CC(38)$	1292	1170
$\delta HCC(53), v CC(16)$	1315	1191
$v OC(15), v CC(14), \delta HOC(32), \delta OCO(12)$	1329	1204
$v NC(20), \delta HNN(19), \delta HCN(24)$	1341	1215
$\delta HNN(46), \delta HCN(19)$	1363	1235
$v NC(13), \delta HCN(26)$	1398	1266
$v CC(21), \delta HCC(43)$	1430	1295
$\delta HCC(19)$	1433	1299
$\delta HCC(38), \delta CCC(38)$	1470	1332
$\delta HCC(53)$	1483	1344
$v NC(33), v CC(10)$	1543	1397
$v CC(17)$	1556	1409
$v NC(16), v CC(12)$	1575	1427
$v NC(17), v CC(14)$	1580	1432
$v OC(54)$	1596	1446
$v CC(20), \delta HCC(19)$	1602	1452
$v OC(54)$	1737	1573
$v OC(51), v NC(10)$	1758	1592
$v CH(46)$	3066	2777
$v CH(34)$	3073	2784
$v CH(29)$	3077	2787
$v CH(49)$	3088	2797
$v NC(22)$	3088	2798
$v CH(42)$	3103	2811
$v CH(31)$	3107	2814
$v CH(32)$	3118	2825
$v CH(34)$	3119	2825
$v CH(34)$	3126	2832
$v NH(100)$	3562	3226
$v OH(100)$	3652	3308

* τ , Dönme, v , gerilme; δ , eğilme.



Şekil 4. Bileşiğin B3LYP 6-311G(d,p)(a), HF 6-311G(d,p)(b) seviyesine göre IR Spektrumları

3.7. NMR Spektral Analizi

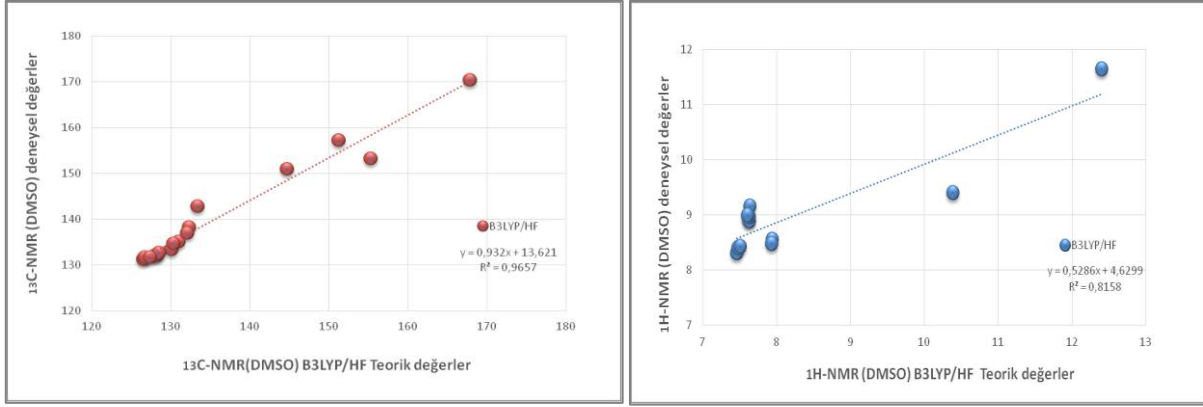
2-(3-Fenil-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on-4-il)-azometin benzoik asit molekülünün ^{13}C / ^1H -NMR teorik kimyasal kayma değerleri B3LYP, HF 6-311G(d,p) ile çözücülü (DMSO) ortamında GIAO metodu ile hesaplanmıştır (Wolinski ve ark., 1990) ve literatürde mevcut olan deneysel nükleer manyetik rezonans değerleri ile karşılaştırılmıştır. Bu deneysel değerlerin teorik değerlerden çıkarılmasıyla elde edilen sonuçlar Tablo 7' de gösterilmiştir. Deneysel ve teorik veriler mukayesesi ile regrasyon analizi yapılarak ortalama küresel hata (R^2) değerleri bulunmuştur ve regrasyon grafikleri oluşturulmuştur. Moleküldeki iki benzen halkasının protonlarının (H19-H22) ve (H23-H27) deneysel kimyasal kayma değerleri sırasıyla 7.63-8.94 ve 7.46-7.90 ppm aralığında, N-H protonunun (H17) kimyasal kayma değeri 12.4 ppm'dir. B3LYP/ HF 6-311G(d,p)

temel seti ile elde edilen teorik ^1H kimyasal kayma değerleri benzen halkasının protonları (H19-H22) ve (H23-H27) dmsö çözücülü ortamda sırası ile 8.47-9.15/ 8.19-8.90 ve 8.30-8.95/ 7.92-8.60 ppm aralığındadır. N-H protonunun (H17) teorik kimyasal kayma değeri gaz ortamında ve çözücülü (DMSO) ortamda 11.63, 11.54 ppm'dir. ^{13}C -NMR deneysel analizinde benzen halkasının karbonları (C10-C15) 126.64-130.31 ppm aralığında, ikinci benzen halkasının karbonları (C4-C9) 126.49-132.25 ppm aralığında iken, B3LYP, HF 6-311G(d,p) temel seti ile çözücülü ortamda hesaplanan benzen halkasının karbonları (C10-C15) ve (C4-C9) için ^{13}C -NMR verileri ise sırası ile; 131.56-134.59/135.58-143.05 ve 131.13-142.69/ 135.48- 148.29 ppm'de, triazol halkasının karbonları deneysel olarak (C1, C2) 144.67, 155.24 ppm'de iken; B3LYP, HF 6-311G(d,p) temel seti ile çözücülü (DMSO) ortamda hesaplanan triazol halkasının karbonları (C1, C2) 150.85, 153.21/ 159.57, 160.17 ppm'dir.

Tablo 7. Bileşiğin deneysel ve B3LYP, HF/6-311G(d,p) temel setleri ile hesaplanmış ^{13}C ve ^1H -NMR verileri

No	Deneysel	B3LYP/6311 (d,p)/DMSO	Fark B3LYP DMSO	HF/6311(d,p)/ DMSO	Fark HF DMSO
C1	144,67	150,85	-6,18	159,57	-14,9
C2	155,24	153,21	2,03	160,17	-4,93
C3	151,18	157,2	-6,02	167,41	-16,23
C4	133,37	142,69	-9,32	148,29	-14,92
C5	128,18	132,05	-3,87	138,39	-10,21
C6	132,25	138,2	-5,95	146,35	-14,1
C7	130,92	135,01	-4,09	139,93	-9,01
C8	132,01	136,82	-4,81	144,08	-12,07
C9	126,49	131,13	-4,64	135,48	-8,99
C10	126,64	131,56	-4,92	135,58	-8,94
C11	130,03	133,28	-3,25	141,96	-11,93
C12	127,96	131,97	-4,01	137,16	-9,2
C13	130,31	134,59	-4,28	143,05	-12,74
C14	128,42	132,54	-4,12	138,05	-9,63
C15	127,32	131,59	-4,27	140,55	-13,23
C16	167,81	170,27	-2,46	171,95	-4,14
H17	12,4	11,63	0,77	11,54	4,86
H18	10,39	9,39	1,00	10,47	-0,08
H19	7,92	8,92	-1,3	8,32	-0,7
H20	7,85	8,54	-0,6	8,31	-0,37

H21	7,63	8,47	-0,54	8,19	-0,26
H22	7,94	9,15	-1,51	8,90	-1,26
H23	7,90	8,88	-1,25	8,27	-0,64
H24	7,46	8,30	-0,84	7,92	-0,46
H25	7,48	8,39	-0,91	8,19	-0,71
H26	7,51	8,42	-0,91	8,10	-0,59
H27	7,64	8,95	-1,32	8,60	-0,97
H28	7,61	8,98	-1,37	6,28	1,33



Şekil 5. Bileşiğin çözücülü (DMSO) ortamda regresyon analiz grafikleri ve R^2 değerleri

4. Sonuç

Çalışmada, 2-(3-Fenil-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on-4-il)-azometin benzoik asit bileşiğinin B3LYP, HF 6-311G(d,p) setleri ile yapılan teorik analizlerde (geometrik, spektroskopik, elektronik, termodinamik) elde edilen sonuçlar sunulmuştur ve mevcut olan deneysel veriler ile kıyaslaması yapılarak uygun sonuçlar elde edilerek grafikler çizilmiştir. Molekülün Gauss-view görüntüsü olan en kararlı halinden faydalanılarak tüm hesaplamalar yapılmıştır ve sonucunda, molekülün yapısal aydınlatılmasında kullanılan en değerli verilerden biri olan infrared titreşim frekansları için teorik ve deneysel verilerin kıyaslanması ile deneyselle en yakın verileri sunan HF 6-311G(d,p) temel setinin olduğu görülmüştür. ¹³C-NMR verileri için, DFT/HF 6-311G (d,p) temel setleri ile DMSO çözücülü ortamda R^2 değeri 0.9657' dir. ¹H-NMR kimyasal kayma sonuçlarında ise grafiklerden anlaşıldığı üzere bir sapma gözlenmiştir, buna sebep olan N-H asidik protonudur ve R^2 değeri 0.8158'dir. Ayrıca hesaplanan skalalı titreşim frekans verilerinde negatif değer bulunmamaktadır bu sonuç çalışılan molekülün kararlı olduğunu göstermektedir. Molekülün düşük enerjide boş orbitalleri ile yüksek enerjideki dolu orbitalleri arasındaki enerji farkı DFT 6-311G(d,p) ile 4.0837 eV'dur. Ayrıca, E_{HOMO} ve E_{LUMO} orbital enerjileri kullanarak elektron ilgisi (A), iyonlaşma potansiyeli (I), elektronegativite (χ), kimyasal potansiyel (μ), elektrofilik indeks (ω), kimyasal yumuşaklık (S) ve kimyasal sertlik (η) gibi birçok elektronik parametre hesaplanmıştır. Bunlara ek olarak, termodinamik özellikleri incelenmiştir, bağ açısı ve uzunluk teorik değerleri hesaplanmıştır ve literatürde var olan uzunluk verileri ile karşılaştırılmıştır sonucunda literatüre DFT(B3LYP) metodu ile yapılan hesaplamaların daha yakın olduğu bulunmuştur. Son olarak, MEP yüzey haritası çizilmiştir ve molekülün elektrofilik ve nükleofilik bölgeleri belirlenmiştir, elektronegatif ve elektropozitif atomların tespiti yapılmıştır.

Kaynakça

- Aktaş Yokuş, Ö., Yüksek, H., Manap, S., Aytemiz, F., Alkan, M., Beytur, M., Gürsoy Kol, Ö. (2017). In-vitro biological activity of some new 1,2,4-triazole derivatives with their potentiometric titrations, Bulgarian Chemical Communications, 49 (1), 98-106.
- Ben Salah, B., Chaari, N., Rekek, A., Ben Hsouna, A., Trigui, M., & Kossentini, M. (2015). Synthesis, Crystal Structure, and Antibacterial Activity of 1, 2, 4-Triazoles and 1, 2, 4-Triazol-3-one. Journal of Heterocyclic Chemistry, 52(6), 1769-1775.
- Beytur, M., Turhan Irak, Z., Manap, S., Yüksek, H. (2019). Synthesis, Characterization and Theoretical Determination of Corrosion Inhibitor Activities of Some New 4,5-Dihydro-1H-1,2,4-Triazol-5-one Derivatives, Heliyon, 5 (6), 01809, 1-8.
- Choi, C.H., Kertesz, M., (1998). Bond length alternation and aromaticity in large annulenes, J. Chem. Phys., 108, 6681-6688.
- Dennington, R., Keith, T., Millam, J. (2009). GaussView. Version 5. Semichem Inc. Shawnee Mission KS.
- Fukui, K., (1982). Role of Frontier Orbitals in Chemical Reactions. Science, 747-754.
- Frisch, M. J., Trucks, G. W., Schlegel, H. B., Scuseria, G. E., Robb, M. A., Mennucci, B., Petersson, G. A., Nakatsuji, H., Caricato, M., Li, X. et al., (2009). Gaussian 09. Revision C.01. Gaussian. Inc. Wallingford. CT.
- Goszczyńska, A., Kwiecień, H., Fijałkowski, K. (2015). Med. Chem. Res., 24, pp 3561.
- Guo-Qiang, H., Li-Li, H., Song-Qiang, X., Wen-Long, H. (2008). Design, synthesis and antitumor activity of asymmetric bis(s-triazole Schiff-base)s bearing functionalized side-chain, Chin J. Chem, 26, 1145-1149.
- Gürbüz, A., Alkan, M., Manap, S., Kol, Ö. G., Özdemir, G., & Yüksek, H. (2020). Yeni 2-Metoksi-6-[(3-alkil/aryl-4, 5-dihidro-1H-1, 2, 4-triazol-5-on-4-il)-azometin] fenil Furan-

- 2-karboksilat Türevlerinin Sentezi ve in vitro Antioksidan Aktiviteleri, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 18, 1004-1011.
- Hearn, M.J., Cynamon, M.N., Chen, M.F., Coppins, R., Davis, J., Kang, H.J.O., Noble, A., Tusekine, B., Terrot, M.S., Trombino, D., Thai, M., Webster, E.R., Wilson, R. (2009). Eur.J.Med. Chem., 44,4169.
- Hunashal, R. D., Ronad, P. M., Maddi, V. S., Satyanarayana, D., & Kamadod, M. A. (2014). Synthesis, anti-inflammatory and analgesic activity of 2-[4-(substituted benzylideneamino)-5-(substituted phenoxyethyl)-4H-1, 2, 4-triazol-3-yl thio] acetic acid derivatives, Arabian Journal of Chemistry, 7(6), 1070-1078.
- Jamroz, M. H. (2004). Vibrational Energy Distribution Analysis. VEDA 4 program, Warsaw.
- Kotan, G., Yüksek, H. (2019). 3-Fenil-5-(4-pridil)-1,2,4-triazol Molekülünün DFT(B3LYP/B3PW91)/HF ile Spektroskopik, Geometrik, Termodinamik ve Elektronik Analizi, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 17, 933-943.
- Mahdavi, M., Akbarzadeh, T., Sheibani, V., Abbasi, M., Firozpour, L., Tabatabai, S. A., Foroumadi, A. (2010). Synthesis of two novel 3-amino-5-[4-chloro-2-phenoxyphenyl]-4H-1, 2, 4-triazoles with anticonvulsant activity, Iranian journal of pharmaceutical research, IJPR, 9(3), 265.
- Merrick, J. P., Moran, D., Radom, L. (2007). An Evaluation of Harmonic Vibrational Frequency Scale Factors. Journal of Physical Chemistry, 111(45), 11683-11700.
- Mulliken, R. S. (1955). Electronic Population Analysis on LCAO-MO Molecular Wave Functions, International Journal of Chemical Physics., 23, 1833-1840.
- Murray, J.S., Peralta-Inga, Z., Pelitzer, P., (1999). Int. J. Quant. Chem., 75 (3), 267-273.
- Neelakantan, M. A., Esakkiammal, M., Mariappan, S. S., Dharmaraja, J., & Jeyakumar, T. (2010). Synthesis, characterization and biocidal activities of some schiff base metal complexes, Indian Journal of Pharmaceutical Sciences, 72(2), 216.
- Ocak, N., Çoruh, U., Kahveci, B., Şaşmaz, S., Vazquez-Lopez, E. M., Erdönmez, A. (2003). 1-Acetyl-3-(p-chlorobenzyl)-4-(p-chlorobenzylideneamino)-4,5-dihydro-1H-1, 2, 4-triazol-5-one. Acta Cryst. Sec. E., 59(6), 750-752.
- Sarac, K. (2020). Synthesis, Experimental and Theoretical Characterization of 4-(((4-Ethyl-5-(Thiophene-2-yl)-4H-1, 2, 4-Triazol-3-yl) Thio) Methyl)-6-Methoxycoumarin, Russian Journal of Physical Chemistry B, 14, 19-28.
- Serin, S., Gök, Y., (1988), Hidroksi Schiff Bazı Metal Komplekslerinin Tekstil Boyamacılığında Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, T. Kimya D.C., 12, 325-331.
- Sudha, N., Abinaya, B., Kumar, R. A., Mathammal, R., (2018). Synthesis, Structural, Spectral, Optical and Mechanical Study of Benzimidazolium Phthalate crystals for NLO Applications, Journal of Lasers Optics & Photonics, 5(2), 1-6.
- Sumangala, V., Poojary, B., Chidananda, N., Arulmoli, T., & Shenoy, S. (2013). Synthesis and biological evaluation of some Schiff bases of 4-amino-5-(4-methylsulfonyl) benzyl-2, 4-dihydro-3H-[1, 2, 4]-triazole-3-thione, Medicinal Chemistry Research, 22(6), 2921-2928.
- Şen, F., Dinçer, M., Yılmaz, İ., Çukurovalı, A. (2017). Spectral and structural analysis on 2-(4-Allyl-5-Mercapto-4H-1,2,4-Triazol-3-yl) Acetic acid: Experimental and theoretical (HF and DFT) studies, Journal of Molecular Structure, 1137, 193-205.
- Ustabas, R., Çoruh, U., Sancak, K., Ünver, Y., Vazquez-Lopez, E.M. (2007). 1-(benzoylmethyl)-4-[(2,4-dichlorobenzylidene)amino]-3-(2-thienylmethyl)4,5-dihydro-1H-1, 2, 4-triazol-5-one. Acta Cryst. Sec. E., 63, 2982-3051.
- Wolinski, K., Hilton, J. F., Pulay, P. J. (1990). Efficient implementation of the gauge-independent atomic orbital method for NMR chemical shift calculations, Journal of the American Chemical Society, 112, 512.
- Yüksek, H., Akdeniz, F., Bahçeci, Ş. (2006). Bazı Potansiyel biyolojik aktif 4,5-dihidro-1H-1, 2, 4-triazol-5-on Türevlerinin Sentezi ve Yapılarının Aydınlatılması, Kimya 2006, XX. Ulusal Kimya Kongresi, Kayseri, Bildiri Özetleri Kitabı, OKS-03.
- Zacharias, A. O., Varghese, A., Akshaya, K. B., Savitha, M. S., & George, L. (2018). DFT, spectroscopic studies, NBO, NLO and Fukui functional analysis of 1-(1-(2, 4-difluorophenyl)-2-(1H-1, 2, 4-triazol-1-yl) ethylidene) thiosemicarbazide, Journal of Molecular Structure, 1158, 1-13.
- Zhang, H. Y., & Shi, D. Q. (2014). Synthesis and Herbicidal Activities of 3-Trifluoromethyl-5-[3-(trifluoromethyl) phenoxy]-1, 2, 4-Triazol-4-Schiff Bases, Journal of Heterocyclic Chemistry, 51(S1), E344-E348.



A New Rhodamine-Based Colorimetric and Fluorescence Chemosensor for the Real-Time Determination of Hg²⁺ in Aqueous Media

Sukriye Nihan Karuk Elmas^{1*}

^{1*} Karamanoğlu Mehmetbey University, Department of Chemistry, KÖ Science Faculty, Karaman, Turkey (ORCID: 0000-0002-1661-5902), snihankaruk@gmail.com,

(First received 13 September 2020 and in final form 31 January 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.793007)

ATIF/REFERENCE: Karuk Elmas, SN. (2021). A New Rhodamine-Based Colorimetric and Fluorescence Chemosensor for the Real-Time Determination of Hg²⁺ in Aqueous Media. *European Journal of Science and Technology*, (21), 660-664.

Abstract

The selective and sensitive detection of trace mercury ion in aqueous solutions is vital because of their harmful effects for human health and living systems. In this study, a novel nitro-benzene thiosemicarbazide appended rhodamine derivative (the chemosensor **BODN**) was designed and synthesized. The chemosensor **BODN** is prepared as a fluorescence "turn on" and colorimetric probe for the specific determination of Hg²⁺ ion without interference from other competitive metal cations in H₂O/ACN (v/v, 20/80) media. The chemosensor **BODN** was characterized by using the electrospray ionisation mass spectrometry (ESI-MS), NMR, and FT-IR spectroscopies. All fluorescence and absorbance spectral experiments were carried out at room temperature (25 °C). The chemosensor **BODN** showed an emission enhancing at 580 nm in the presence of Hg²⁺ ion because of "FRET on" (Fluorescence resonance energy transfer on) process based on the ring-opening mechanism of the rhodamine spirolactamin unit. This enhancement was investigated using fluorescence spectroscopy. A new absorbance band at 560 nm was formed and the drastic color change from colorless to pink upon the transferring of Hg²⁺ ion can act it a usable "naked eye" probe for the monitoring of Hg²⁺ ion. The binding stoichiometry between the chemosensor **BODN** and Hg²⁺ ion was found to be 2:1 by using Job's plot analysis and ESI-MS, respectively. The binding constant between the chemosensor **BODN** and Hg²⁺ was found to be 3.20x10⁴ M⁻¹. In addition, the chemosensor **BODN** could detect Hg²⁺ ion at a concentration as low as 3.21 nM in H₂O/ACN (v/v, 20/80). Results of this study indicated that the fluorescence and colorimetric chemical sensor can be employed in aqueous media analysis to detect Hg²⁺ ion with high selectivity and sensitively.

Keywords: Chemosensor, Colorimetric, Fluorescence, Hg²⁺, Rhodamine.

Sulu Ortamda Gerçek Zamanlı Civa İyonunun Tayini için Yeni Bir Rodamin Bazlı Floresans ve Kolorimetrik Kimyasal Sensör

Öz

Sulu çözeltilerde eser miktardaki civa iyonunun seçici ve hassas tespiti, insan sağlığı ve canlı sistemler üzerindeki zararlı etkileri nedeniyle hayati önem taşımaktadır. Bu çalışmada, yeni bir nitro benzen tiyosemikarbazid modifiyeli rodamin türevi (kemosensör **BODN**) tasarlanıp, sentezlenmiştir. Kemosensör **BODN** diğer yarışmalı metal katyonların varlığında, H₂O/ACN (v/v, 20/80) çözelti ortamında Hg²⁺ iyonunun seçici olarak belirlenmesi amacıyla bir floresans "turn on" ve kolorimetrik kemosensör olarak hazırlanmıştır. Kemosensör **BODN** elektrosprey iyonizasyon kütle spektrometresi (ESI-MS), NMR ve FT-IR spektroskopileri kullanılarak karakterize işlemleri gerçekleştirilmiştir. Tüm floresans ve absorbans spektral ölçüm deneyleri, oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir (25 °C). Kemosensör **BODN**, yapısında bulunan spirolaktam ünitesinin halka açılma mekanizması prosesine dayanan "FRET on" (Floresans rezonans enerji transferi) mekanizması sebebiyle 580 nm dalga boyunda Hg²⁺ iyonları varlığında doğrusal artan bir emisyon şiddeti göstermiştir. Bu artış floresans spektroskopisi kullanılarak incelenmiştir. Ayrıca Hg²⁺ iyonu varlığında 560 nm'de yeni bir absorbans bandı oluşmuştur ve böylelikle kimyasal sensör çözeltisinin rengini rensizden pembeye değiştirmiştir. Bu durum kemosensör **BODN** ile Hg²⁺ iyonunun çıplak gözle tayini için bir kimyasal sensör olarak kullanılabilir.

* Corresponding Author: snihankaruk@gmail.com

olduğunu göstermektedir. Kemosensör **BODN** ve Hg^{2+} iyonu arasındaki bağlanma stokiometrisi hakkında bilgi sahibi olmak amacıyla Job's grafik analizi ve ESI-MS tekniği kullanılmıştır Kompleks oluşumunda bağlanmanın 2:1 oranında gerçekleştiği saptanmıştır. Kemosensör **BODN** ve Hg^{2+} iyonu arasındaki bağlanma sabit katsayısı ise $3.20 \times 10^4 \text{ M}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Ek olarak, kemosensör **BODN** $\text{H}_2\text{O}/\text{ACN}$ (v/v, 20/80) çözelti karışımında 3.21 nM kadar düşük konsantrasyonda Hg^{2+} iyonunu tespit edebildiği hesaplanmıştır. Bu çalışmanın sonucu olarak, geliştirilen floresans ve kolorimetrik kimyasal sensörün (**BODN**) sulu ortamda yüksek seçicilik ve duyarlılıkla Hg^{2+} iyonunu saptamak amacıyla kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Kemosensör, Kolorimetrik, Floresans, Hg^{2+} , Rodamin.

1. Introduction

Selective and sensitive determination of cations is of great attention, as they have important roles in the environment and living systems (D. Aydın, 2018; D. Aydın, 2020). Mercury is one of the most toxic heavy metal, has an immensely toxic effect on living organisms and ecosystem because of its accumulated characteristics in several natural and anthropogenic sources. Mercury pollution is a universal issue, bringing vital environmental and health problems, for examples kidney, stomach and neurological diseases due to the high affinity of Hg^{2+} for -SH groups in proteins and enzymes. The United States Environmental Protection Agency notified a maximum mercury concentration level in drinkable water at 0.002 mg.L^{-1} (10 nmol.L^{-1}). Therefore, it is significant to determine the concentrations of mercury ion at trace concentrations in several biological and environmental samples (C. Camaschella, 2017; G. Chen, Guo, Zeng, & Tang, 2015; L. Chen et al., 2011; Han, Yuan, & Wang, 2009; Karuk Elmas & Yilmaz, 2018).

There have been several methods for the sensing of Hg^{2+} ion in the past decades for examples electroanalytical methods, atomic absorption inductively coupled plasma mass spectrometry, etc. Compared to those techniques, fluorescence sensing strategies have received deep interest for sensing of trace-level of Hg^{2+} because of the advantage of operational simplicity, high selectivity, rapidity, low-cost of instrument, selective and sensitive determination, real-time monitoring behavior and applications in vivo/vitro bio-imaging (Liu et al., 2015; Ş.N. Karuk Elmas et al., 2017).

Among of fluorophores, rhodamine-based fluorescence chemosensors have been remarkable attention due to their excellent photophysical behaviors such as high quantum yields and a broad range of emission and absorption wavelengths, and also they can be simply modified procedures. Rhodamine derivatives are not fluorescence molecules due to their spirolactam rings; however, the opening of the spirolactam structure causes strong emissions. Thus, rhodamine derivatives are regarded as excellent structures for the turn on/off types of fluorescence chemosensors.

Herein, a new rhodamine based fluorescence and colorimetric chemosensor (**BODN**), which was synthesized by the condensation of ethylenediamine appended rhodamine and 4-nitrophenyl isothiocyanate in methanol. The chemosensor was designed for the monitoring of Hg^{2+} ion in such a way to have binding sites like $-\text{C}=\text{O}$ and $-\text{S}$ group. The sensing behavior of the chemosensor **BODN** was evaluated in $\text{H}_2\text{O}/\text{ACN}$ (v/v, 20/80) solution using UV-Vis and fluorescence spectroscopies. The chemosensor **BODN** determines Hg^{2+} ions selectively and sensitively with 'turn on' fluorescence response. Also, the chemosensor **BODN** can behave as a naked eye probe for the determination of Hg^{2+} ion in $\text{H}_2\text{O}/\text{ACN}$ (v/v, 20/80) with the color changed from colorless to pink color.

2. Material and Method

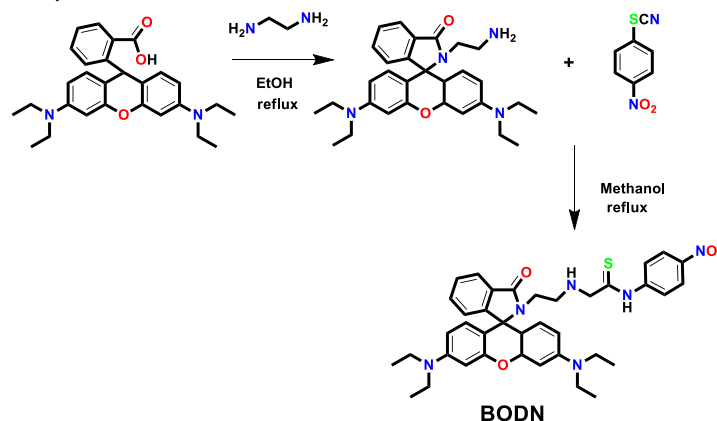
2.1. Reagents and Apparatus

All reagents were of spectroscopic grade and bought from commercial suppliers Sigma-Aldrich, VWR and Merck and utilized without further refinement.

$^1\text{H-NMR}$ data were collected on a 600 MHz spectrometer (Bruker-DPX) by utilizing chloroform (CDCl_3). FT-IR spectra were measured using a Spectrum-100 infrared spectrometer (Perkin Elmer Inc.) and the mass spectra were obtained on a Daltonics – MicroflexTM spectrometer (Bruker). Cary Eclipse fluorescence and Cary 60 UV-Vis spectrophotometers (Agilent Tech., Inc.) were used to gain spectral data, respectively.

2.1. Synthesis of the Chemosensor BODN

As illustrated in Scheme 1, the ethylene diamine appended rhodamine (2) was synthesized according to previous literature procedures (H. Kilic & E. Bozkurt, 2018; S. Erdemir, 2019). For the chemosensor **BODN**, a solution of **2** (100 mg, 0.205 mmol) and 4-nitrophenyl isothiocyanate (38.7 mg, 0.215 mmol) in methanol (10 mL) was refluxed 24 hours in presence of molecular sieve. The mixture was cooled at room temperature and then the solvent was evaporated. The obtained solid was dissolved in CH_2Cl_2 (3 mL) then added to n-hexane (100 mL). Precipitated was occurred, filtered and washed with hexane, dried to give the chemosensor **BODN**. Yield: 20%. $^1\text{H NMR}$ (400 MHz, $\text{CH}_3\text{Cl-d}_6$) 8.34 (m, 1H), 8.18 (m, 1H) 8.01-7.70 (m, 2H), 7.68-7.37 (m, 2H), 7.21-6.95 (m, 2H), 6.37 (q, 6H), 3.82-2.89 (m, 12H), 1.17 (t, 12H). FTIR (ATR) cm^{-1} : 3330 (N-H), 3265 (N-H), 3070 (Ar-H), 2969 (C-H), 2927 (C-H), 1665 (C=O), 1632 (C=O), 1511 (Ar-), 1327 (aromatic C-C), 1263 (aromatic C-O-C), 1116 (C-N), 1070 (C=S). MS-ESI (m/z) calculated for $\text{C}_{38}\text{H}_{44}\text{N}_6\text{O}_4\text{S}$ – 680.380. The spectral details were given in figures S1, S2 and S3 (in supporting information).



Scheme 1. Synthetic scheme of the chemosensor BODN

2.1. Synthesis of the Chemosensor BODN

The stock solution of the chemosensor **BODN** and metal perchlorate salts (Al^{3+} , Hg^{2+} , Ca^{2+} , Pb^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{2+} , Cd^{2+} , Ni^{2+} , Ag^{+} , Co^{2+} and Mg^{2+}) were prepared in ACN and then diluted to the required concentrations.

All emission spectra were performed in the region of 540–700 nm ($\lambda_{\text{em}}=580$ nm, $\lambda_{\text{ex}}=530$ nm) and slit widths were 10.0 nm. Using the fluorescence titration study, the binding constant and limit of detection were calculated by the Benesi-Hildebrand equation and $\text{DL} = 3xS/K$, respectively. The absorbance spectra were obtained in the region of 200–800 nm at room temperature. The volume of the chemosensor **BODN** solution utilized in the UV-vis and fluorescence experiments was 3.0 mL.

3. Results and Discussion

3.1. Synthesis of the chemosensor BODN

As illustrated in Scheme 1, 4-nitrophenyl isothiocyanate was reacted with ethylenediamine appended rhodamine (2) in methanol. The characterization experiments of the chemosensor **BODN** were carried out by $^1\text{H-NMR}$, IR and ESI-MS spectroscopies. The characterization details were given in supplementary data under section S1-S3.

3.2. Spectral experiments

The sensing behavior of the chemosensor **BODN** towards metal cations (Al^{3+} , Ca^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{2+} , Pb^{2+} , Cd^{2+} , Ni^{2+} , Ag^{+} , Co^{2+} and Mg^{2+}) was evaluated by using absorbance and emissions spectra. The emission properties of the chemosensor **BODN** were investigated in the presence of 20.0-fold excess of cations. As seen in figure 1, the fluorescence intensity at 580 nm was observed upon addition of the Hg^{2+} to the chemosensor solution while other metal cations caused small or no emission changes. The chemosensor **BODN** (5 μM) have almost non-fluorescence, 20-fold increment of fluorescence intensity at 580 nm upon the transferring of 10.0 equiv. of Hg^{2+} to the chemosensor solution was observed due to FRET mechanism. The fluorescence emission of the chemosensor **BODN** at 550 nm shifted at 580 nm during the complexation with Hg^{2+} . This situation could be defined by FRET (fluorescence resonance energy transfer) mechanism was supported the energy transfer from the isothiocyanate moiety (donor) to the rhodamine moiety (acceptor). The characteristic fluorescence of the rhodamine based structure in the spiro-ring closed form is inhibited, for this reason the donor moiety displays only the fluorescence. Subsequently, the FRET mechanism of the system is prohibited while after complexation between the chemosensor and metal ions, the spiro-ring of the rhodamine structure opens that causes a strong fluorescence (M. Maniyazagan et al., 2017). The overlap spectrum of the emission with absorbance clearly demonstrates the possibility of a FRET mechanism shown in figure S4 (in supporting information).

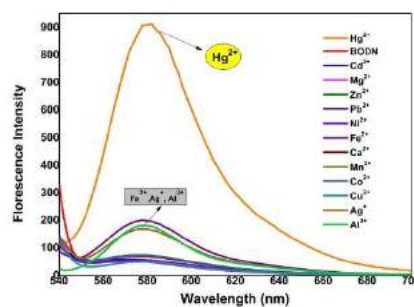


Figure 1 Spectra of the chemosensor **BODN** in the presence of metal ions (10.0 eq.) in $\text{H}_2\text{O}/\text{ACN}$ media (v:v, 20:80) (5.0 μM) ($\lambda_{\text{ex}} = 530$ nm, $\lambda_{\text{em}} = 580$ nm)

The sensing behavior between the chemosensor **BODN** with Hg^{2+} was proved by the fluorescence titration experiment. The fluorescence at 580 nm reached a maximum intensity upon the transferring of 10.0 eq. of Hg^{2+} . Figure 2 displays the changes in emission spectra of the chemosensor **BODN** upon titration with Hg^{2+} (0.0–10.0 equiv). The emission intensity of the chemosensor **BODN** enhanced gradually when the amount of Hg^{2+} was increased stepwise.

Furthermore, Job's method for the evaluation of the binding behavior of the chemosensor **BODN** and Hg^{2+} was utilized and displayed in figure S5 (in supporting information). A Job's graph is a plot of the fluorescence intensities at 580 nm versus the corresponding values of the molar fraction of Hg^{2+} ion and a maximum value of the graph is about 0.33. The Job's plot graph promoted 2:1 complex formation between the chemosensor **BODN** and Hg^{2+} . The binding constant of **BODN**- Hg^{2+} complex was found $3.20 \times 10^4 \text{ M}^{-1}$ using the fluorescence titration experiment based on the Benesi-Hildebrand equation given in section S6 of the supplementary data. The limit of detection for Hg^{2+} was calculated to be 3.21 nM on the basis of $3S/k$.

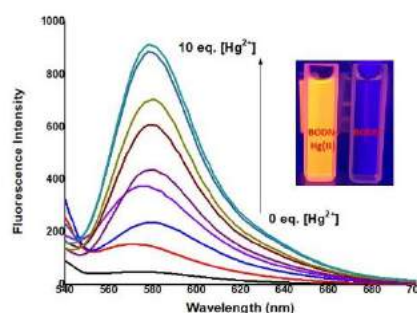


Figure 2 Spectral changes of the chemosensor **BODN** upon the addition of Hg^{2+} (0 to 10.0 equiv) in $\text{H}_2\text{O}/\text{ACN}$ media (v:v, 20:80) (5.0 μM) ($\lambda_{\text{ex}} = 530$ nm, $\lambda_{\text{em}} = 580$ nm)

On the other hand, absorbance measurements were performed due to the investigation of the binding behavior of the chemosensor **BODN** towards metal ions (Figure 3). The absorbance of the chemosensor **BODN** displayed bands at 240, 270, 320 and 360 nm corresponding to $\pi-\pi^*$ and $n-\pi^*$ transitions. Upon transferring of enhancement amounts of Hg^{2+} (10.0 eq.), three absorbance bands at 240, 270 and 320 nm increased while the band at 360 nm was disappeared. Also, a new absorption band at 560 nm was observed due to the hydrolysis of the chemosensor **BODN** after the ring-opening process (Figure 4). The binding constant of **BODN**- Hg^{2+} complex and the limit of

detection for Hg^{2+} were found $9.06 \times 10^4 \text{ M}^{-1}$ and $0.27 \mu\text{M}$, respectively.

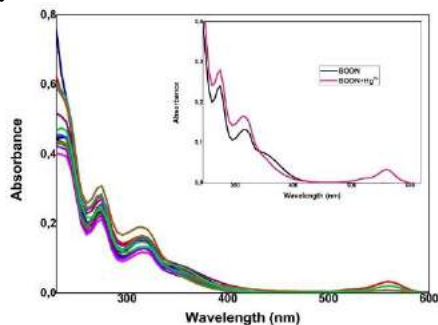


Figure 3 Absorbance of the chemosensor **BODN** in the presence of different cations (10.0 eq.) in $\text{H}_2\text{O}/\text{ACN}$ media (v:v, 20:80) ($5.0 \mu\text{M}$)

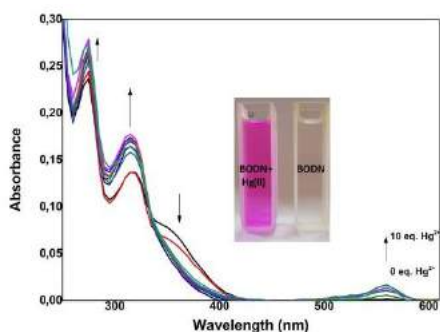


Figure 4 Absorbance changes of the chemosensor **BODN** upon the addition of Hg^{2+} (0 to 10.0 eq.) in $\text{H}_2\text{O}/\text{ACN}$ media (v:v, 20:80) ($5.0 \mu\text{M}$)

To find out the fluorescence selectivity behavior of the chemosensor **BODN**, the interference measurements were performed in company with other metal cations (20 equiv.) with Hg^{2+} ion (20 equiv.) (Figure 5). The chemosensor **BODN** could detect Hg^{2+} without any influence of competing cations. Thus, Hg^{2+} was easily determined in the presence of competing metal ions with fluorescence ‘turn-on’ responses. The results displayed that the chemosensor **BODN** could be utilized as a Hg^{2+} sensor over the other competing metal cations.

It is commonly known that the parameter of pH would influence the response mechanisms of chemosensors. Thus, the fluorescence measurements were carried out in the presence and absence of the Hg^{2+} ion using buffer solutions (acetate buffer, phosphate buffer ammonium buffer) having a pH range of 4.0–11.0 (Fig. S8). When the obtained results were evaluated, it was determined that the chemosensor **BODN** could determine Hg^{2+} ion at pH range of 4.0–11.0.

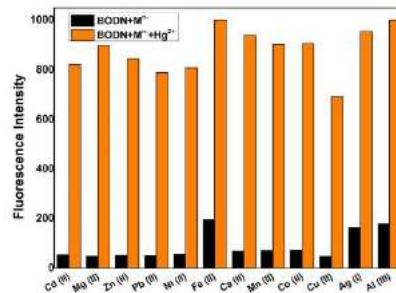


Figure 5 Competitive selectivity graph of the chemosensor **BODN** ($5.0 \mu\text{M}$) in the presence of different metal ions (20. Eq.) toward Hg^{2+} (20. Eq.) in $\text{H}_2\text{O}/\text{ACN}$ media (v:v, 20:80) ($\lambda_{\text{ex}} = 530 \text{ nm}$, $\lambda_{\text{em}} = 580 \text{ nm}$)

The binding of the chemosensor **BODN** and Hg^{2+} was investigated by FT-IR experiments. The FT-IR spectra of the chemosensor **BODN** and **BODN-Hg²⁺** were measured, and illustrated in figure 6a. The characteristic carbonyl (C=O) band of the chemosensor **BODN** at 1665 cm^{-1} disappeared after complexation between the chemosensor **BODN** and Hg^{2+} , due to the spirolactam ring-open process and a new C=N imine band was detected at 1645 cm^{-1} (A. Sikdar et al., 2013). The intensity of the band at 1090 cm^{-1} that is indicated to $-\text{C}=\text{S}$ was increased and shift to 1070 cm^{-1} because of the formation of $-\text{C}-\text{S}-\text{Hg}$ -bond (C. Kan et al., 2019). As seen in figure 6b, the peak at 1566.454 [m/z] could be supported $[2 \cdot \text{BODN} + \text{Hg}^{2+} + \text{H}_2\text{O}]$, which demonstrated that chemosensor **BODN** reacted with Hg^{2+} in a ratio of 2:1. Based on the obtained results, the proposed mechanism between the chemosensor **BODN** and Hg^{2+} ion was depicted in Scheme 2.

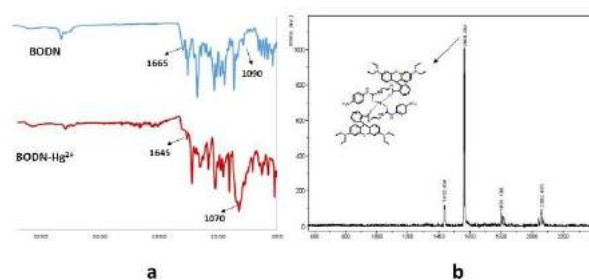
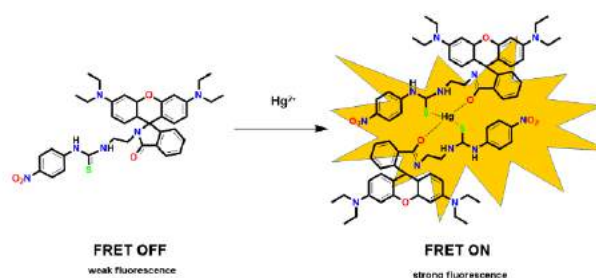


Figure 6 (a) IR spectra of the chemosensor **BODN** and **BODN-Hg²⁺** complex (b) ESI-MS spectrum of **BODN-Hg²⁺** complex



Scheme 2. Possible binding mechanism of the chemosensor BODN upon the addition of Hg^{2+}

4. Conclusions and Recommendations

In a conclusion, a novel fluorescence chemosensor based rhodamine derivative (the chemosensor **BODN**) employed with FRET process was used for the detection of Hg^{2+} . The chemosensor **BODN** demonstrated excellent fluorescence “turn-on” response to Hg^{2+} in ACN/ H_2O media (v:v, 80:20) at 580 nm with emission enhancement. Fluorescence measurements showed that Hg^{2+} binded to the chemosensor **BODN** with a 1:2 stoichiometry and a binding constant of $3.20 \times 10^4 M^{-1}$. The detection limit of the chemosensor was estimated to be 3.21 nM for Hg^{2+} . These promising results demonstrated that the chemosensor **BODN** has a high potential for the monitoring mercury ions.

References

- Aydin, D. (2018). A Turn Off Fluorescent Probe for Selective Detection of Hg^{2+} Ions. *European Journal of Science and Technology*, (17), 483-490. <https://doi.org/10.31590/ejosat.634119>
- Aydin, D. (2020). A Novel Turn on Fluorescent Probe for the Determination of Al^{3+} and Zn^{2+} Ions and Its Cells Applications. *Talanta* 210: 120615. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2019.120615>
- Chen, G., Guo, Z., Zeng, G., & Tang, L. (2015). Fluorescent and colorimetric sensors for environmental mercury detection. *Analyst*, 140(16), 5400–5443. <https://doi.org/10.1039/c5an00389j>
- Chen, J. F., Han, B. B., Ma, J. F., Liu, X., Yang, Q. Y., Lin, Q., Wei, T. B. (2017). Pillar[5]arene-based fluorescent polymer for selective detection and removal of mercury ions. *RSC Advances*, 7(75), 47709–47714. <https://doi.org/10.1039/c7ra10326c>
- Chen, L., Yang, L., Li, H., Gao, Y., Deng, D., Wu, Y., & Ma, L. J. (2011). Tridentate lysine-based fluorescent sensor for $Hg(II)$ in aqueous solution. *Inorganic Chemistry*, 50(20), 10028–10032. <https://doi.org/10.1021/ic200790g>
- Erdemir, S. (2019). Fluorimetric Dual Sensing of Hg^{2+} and Al^{3+} by Novel Triphenylamine Appended Rhodamine Derivative in Aqueous Media. *Sensors & Actuators: B. Chemical* 290: 558–64. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2019.04.037>
- Karuk Elmas, Ş. N., Ozen, F., Koran, K., Yilmaz, I., Gorgulu, A. O., Erdemir, S. (2017). Coumarin Based Highly Selective ‘off-on-off’ Type Novel Fluorescent Sensor for Cu^{2+} and S^{2-} in Aqueous Solution. *Journal of Fluorescence* 27(2). 27, doi: 10.1007/s10895-016-1972-3.
- Kan, C., Xiaotao S., Fan, S., Jinbao, X., Jing, Z., and Lei, D. (2019). Bioimaging of a Fluorescence Rhodamine-Based Probe for Reversible Detection of $Hg(II)$ and Its Application in Real Water Environment. *Microchemical Journal* 150.104142. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.104142>
- Karuk Elmas, Ş. N., & Yilmaz, I. (2018). A Turn off-on Fluorescent Chemosensor for Sequential Determination of Mercury and Biothiols. *Journal of Fluorescence*, 28(6), 1451–1458. <https://doi.org/10.1007/s10895-018-2320-6>
- Kilic, H. & Bozkurt E. (2018). A Rhodamine-Based Novel Turn on Trivalent Ions Sensor. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 363: 23–30. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2018.05.024>.
- Liu, Y., Lv, X., Liu, J., Sun, Y. Q., Guo, W. (2015). Construction of a Selective Fluorescent Probe for GSH Based on a Chloro-Functionalized Coumarin-Enone Dye Platform. *Chemistry - A European Journal* 21(12): 4747–54. <https://doi.org/10.1002/chem.201406004>
- Maniyazagan, M., Mariadasse, R., Jeyakanthan, J., Lokanath, N. K., Naveen, S., Premkumar, K., Muthuraja, P., Manisankar, P., Stalin, T. (2017). Rhodamine Based ‘Turn-on’ Molecular Switch FRET–Sensor for Cadmium and Sulfide Ions and Live Cell Imaging Study. *Sensors and Actuators, B: Chemical* 238: 565–77. <http://doi.org/10.1016/j.snb.2016.07.102>.
- Sikdar, A., Swapnadip, R., Kakali, H., Soma, S., Sujit, S. P. (2013). Rhodamine-Based Cu^{2+} -Selective Fluorosensor: Synthesis, Mechanism, and Application in Living Cells. *Journal of Fluorescence* 23(3):495–501. <https://doi.org/10.1007/s10895-013-1169-y>



Graphene Aerogel Based Nanogenerators for Health Monitoring

Onur Ergen^{1*}

^{1*} Istanbul Technical University, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0001-7226-4898), oergen@itu.edu.tr

(First received 18 November 2021 and in final form 31 December 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.863610)

ATIF/REFERENCE: Ergen, O. (2021). Graphene Aerogel Based Nanogenerators for Health Monitoring. *European Journal of Science and Technology*, (21), 665-668.

Abstract

Artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) lead a new era in remote health monitoring and preventive care, while making ZnO based strain sensor and nanogenerators a very attractive data collection tool. Here, we demonstrate flexible piezotronics strain sensor/nanogenerator, based on chemically modified graphene aerogels to monitor human hand/finger motions as well as gait asymmetries. The I-V characteristic of the sensor shows high sensitivity towards detection of human motion with a good gauge factor of as high as 95 has been demonstrated.

Keywords: Nanogenerator, Wearable electronics, Strain sensor, Piezotronics, Piezoelectric, Sensors, ZnO nanoparticles, Aerogels, Graphene, Health monitoring.

Sağlık İzleme için Grafen Aerojel Bazlı Nanojeneratörler

Öz

Yapay zeka (AI) ve makine öğrenimi (ML), uzaktan sağlık izleme ve önleyici bakımda yeni bir döneme öncülük ederken, ZnO tabanlı gerinim sensörünü ve nanojeneratörleri çok çekici bir veri toplama aracı haline getiriyor. Burada, insan eli / parmak hareketlerini ve yürüyüş asimetrisini izlemek için kimyasal olarak modifiye edilmiş grafen aerojellere dayanan esnek piezotronik gerinim sensörü / nanojeneratör gösteriyoruz. Sensörün I-V özelliği, insan hareketinin algılanmasına karşı yüksek hassasiyet ,95 kadar, gösterge faktörü bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Nanojeneratör, Giyilebilir elektronik, Gerinim sensörü, Piezotronik, Piezoelektrik, Sensörler, ZnO nanopartikülleri, Aerojeller, Grafen, Sağlık izleme.

* Corresponding Author: oergen@itu.edu.tr

1. Introduction

With the rise of Artificial Intelligence (AI) and Machine Learning (ML) techniques, flexible piezotronics strain sensors and nanogenerators are a very attractive tool for data collection, especially with remote health monitoring and preventive care. Their high sensitivity and fast response times makes them an ideal candidate for effective data collection for these important applications, especially, since their nanostructured architectures have become very intriguing to researchers due to the potential benefit of flexibility, energy harvesting capability, and easy deployment [1-4]. Various nano-architectures have been designed and fabricated from many different piezoelectric materials [1-5]. Among these piezoelectric materials, a large number of applications use ZnO nanomaterials, due to its unique advantages, such as biocompatibility, low cost, easy synthesis, and optical properties [5-10]. Especially ZnO, which received great attention after Wang’s group ZnO nanowire based nanogenerator formation [5], that demonstrated excellent strain induced response properties. Thus, ZnO nanowires (ZnO-NWs) have become a center of attention in building high sensitive strain sensors. However, ZnO-NWs requires compatible host materials that are electronically coupled with ZnO and allow flexible adaptive movements [6-7]. Because, without the proper host material, ZnO-NWs can be very brittle and not suitable for flexible applications, especially under stress, ZnO layer is more prone to cracking and failure [6-11]. Thus, ZnO-NWs is constantly embedded in various different materials to build flexible strain sensors, including different carbon fiber, carbon paper, polymer composite materials, etc [6-10].

In this paper, we present the fabrication and application of a flexible piezotronics strain sensor/nanogenerator, architecture based on chemically modified graphene aerogel (GA). The strain sensor fabricated with chemically induced ZnO nanoparticles on graphene aerogel substrate, and strain sensing, both static and dynamic loading, are demonstrated. The I-V behavior of the device showed high sensitivity with a gauge factor (GF) of as high as 95.

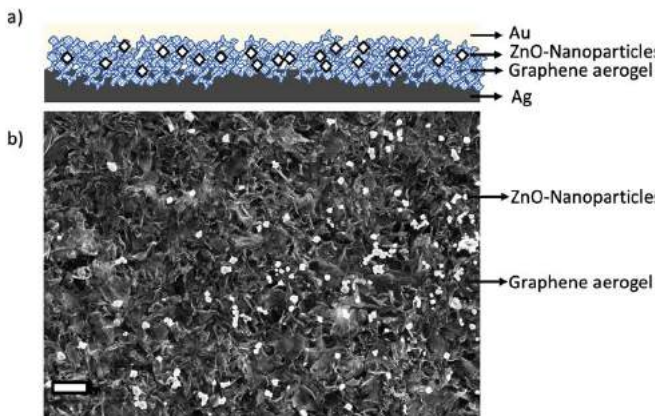


Figure 1 a) The schematic diagram ZnO-Nps/GA strain sensor. (b) The SEM image of the ZnO-Nps/GA.

2. Results and Discussion

The schematic of the strain sensor device and SEM image is shown in Fig. 1. Graphene aerogels are synthesized by the

gelation of a graphene oxide (GO) suspension. GO was suspended (2 wt%) in deionized (DI) water and sonicated at ~ 40kHz. Then, in a glass vial, 5ml of the GO suspension was mixed with 500 μL of concentrated NH4OH (30%). This solution was then transferred to a glass slide attached to rubber rectangular molds and cured in an oven at 80°C for 72h. The resulting gels were removed from the molds and subject to chemical exchange with acetone and DI water, followed up by super critical CO2 drying and pyrolyzed, carbonized, at ~1000°C under a N2 atmosphere for 3h [12-14]. Resulted GA materials were then mixed with a ZnO nanoparticle (ZnO-Nps) solution (<100 nm) which is a very important step to produce high quality ZnO-Nps/GA interfaces [12]. Finally, the whole device architecture was developed with contacts, Au and Ag, top and bottom contact, respectively, for GA, and encapsulated with polydimethylsiloxane (PDMS) elastomer, which is very important to stabilized GA interconnected flakes.

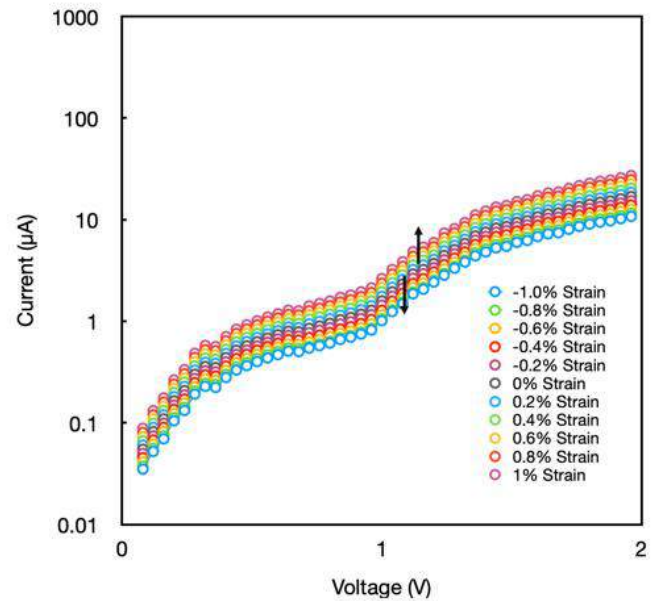


Figure 2 I-V characteristic of the strain sensor at different strain.

The characterization of the I-V behavior of the strain sensor was investigated under static loading, shown in Fig. 2. At different strains, Schottky barrier height (SBH) and current values in rectifying curves alters, shift upward and downward with compressive and tensile strain, respectively. The stability of the device was tested with many repeated full cycles of compressing and stretching, at a frequency of 2 Hz under a fixed bias of 1V (Fig. 3). It can be clearly seen that the current reaches approximately the same values in each cycle, which indicate a stable behavior and desirable electron transport behavior, due to good Schottky junction formations [6,7,16-17]. To determine the performance of the strain sensor, gauge factor is calculated 95 by

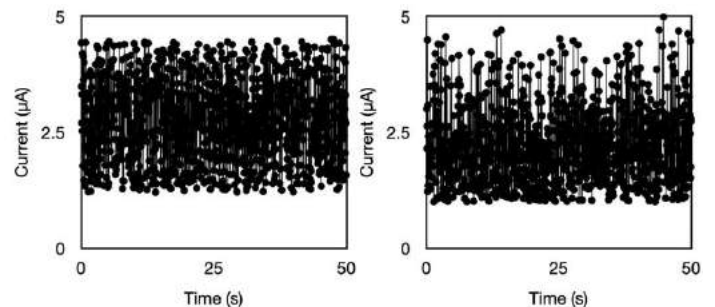


Figure 3 Current response of the strain sensor (a) compressed, (b) stretched at a frequency of 2 Hz under fixed bias 1 V.

the equation $GF = (\Delta R/R)/\Delta \epsilon$, where R is the initial resistance, ΔR is the changed resistance, and $\Delta \epsilon$ is the strain change (Fig. 5c). The best of our knowledge, this calculated value is much higher than values reported for ZnO/carbon based strain sensors [6,7].

We also tested the transient decay of electrons at a fixed strain (Fig. 4), strain sensors stretched for 100s and then released for 10s repeatedly. It can be clearly seen that strain sensor quickly recover to initial conditions once the stretch registered. The decay during the hold is due to ZnO-Nps charge trapping behavior which is widely reported in the literature. This experiments also clearly shows that graphene aerogel is a good host material to accommodate ZnO-Nps, which commonly have cracking and adhesion problem during dynamic loading [18,19]. GA enables continuous active contact to ZnO at any loading condition due to its flexibility and high porous structure.

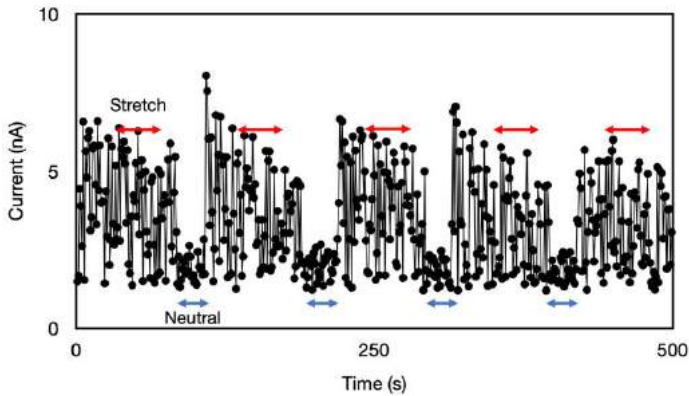


Figure 2 Dynamic response of the strain sensor at a frequency time dependent piezo electric effect repeated cycle.

3. Conclusions and Recommendations

In summary, we demonstrated a technique to produce a cost effective flexible piezotronics strain sensor based on nanoparticle enhanced graphene aerogel substrates. Graphene aerogels provide an excellent receiving substrate to ZnO nanoparticles, that piezoelectric effect can be maintained under any strain condition. I-V characteristic of the device demonstrates consistent SBH modulation and high sensitivity under static and dynamic loading. Moreover, it exhibits a very good gauge factor, flexibility, and stability so that important physiological changes can be detected, such as respiratory rate, movements of gait, and pulse detection. This device can be used with various healthcare applications such as remote health monitoring, preventive medicine, and diagnosis.

This device can be used with various healthcare applications such as remote health monitoring, preventive medicine, and diagnosis.

5. Acknowledge

This research was supported in part by The Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) and TURKCELL, which provided for the design of the experiment and electrical measurements; Surface Science and Technology Center at Koc University provided material and electrical characterization, Prof. Uğur Unal group's provide graphene aerogel growth. O.E. acknowledges the support of the University of California at Berkeley and Prof. Alex Zettl Lab for validation of electrical characterization. O.E. acknowledges the support of TURKCELL as well as Isil Ozkan and Tahsin S. Yaman.

The health monitoring features of these sensors were also studied. To study the respiratory rate and pattern, the sensor was placed on the chest of the subject. It can be clearly seen from Fig. 5b that the sensor accurately responded to each deep inhaling event, every 10s. To study the movements of gait, the sensor was placed on the left foot of the subject and it recorded each step (Fig. 5b). Moreover, a wrist pulse of 73 beats per minute (bpm) was successfully measured (Fig. 5c).

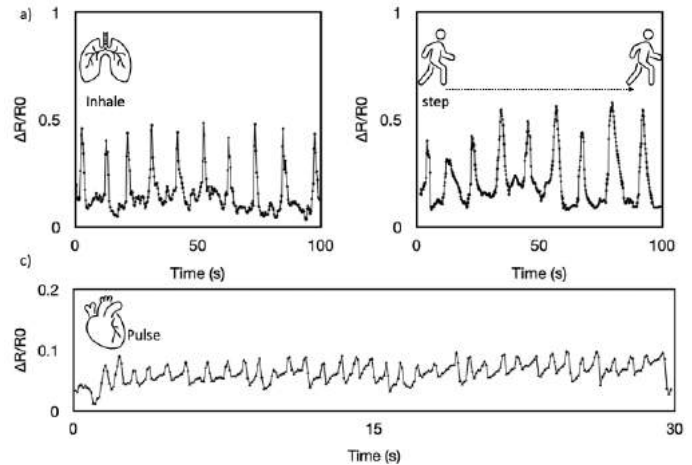


Figure 3 Physiological change detection (a) of breathing events. (b) gait movement (c) pulse measurement

References

- [1] Amjadi, M., Kyung, K. U., Park, I., & Sitti, M. (2016). Stretchable, skin-mountable, and wearable strain sensors and their potential applications: a review. *Advanced Functional Materials*, 26(11), 1678-1698.
- [2] Obitayo, W., & Liu, T. (2012). A review: Carbon nanotube-based piezoresistive strain sensors. *Journal of Sensors*, 2012.
- [3] Jing, Z., Guang-Yu, Z., & Dong-Xia, S. (2013). Review of graphene-based strain sensors. *Chinese Physics B*, 22(5), 057701.
- [4] Liu, H., Li, Q., Zhang, S., Yin, R., Liu, X., He, Y., ... & Guo, Z. (2018). Electrically conductive polymer composites for smart flexible strain sensors: a critical review. *Journal of Materials Chemistry C*, 6(45), 12121-12141.
- [5] J. Zhou, et al. Flexible piezotronic strain sensor, *Nano letters*, 8(9), pp.3035-3040, (2008).
- [5] Zhou, J., Gu, Y., Fei, P., Mai, W., Gao, Y., Yang, R., ... & Wang, Z. L. (2008). Flexible piezotronic strain sensor. *Nano letters*, 8(9), 3035-3040.
- [6] Gullapalli, H., Vemuru, V. S., Kumar, A., Botello-Mendez, A., Vajtai, R., Terrones, M., ... & Ajayan, P. M. (2010). Flexible piezoelectric ZnO-paper nanocomposite strain sensor. *small*, 6(15), 1641-1646.
- [7] Liao, Q., Mohr, M., Zhang, X., Zhang, Z., Zhang, Y., & Fecht, H. J. (2013). Carbon fiber-ZnO nanowire hybrid structures for flexible and adaptable strain sensors. *Nanoscale*, 5(24), 12350-12355.
- [8] Chen, Q., Sun, Y., Wang, Y., Cheng, H., & Wang, Q. M. (2013). ZnO nanowires-polyimide nanocomposite

- piezoresistive strain sensor. *Sensors and Actuators A: Physical*, 190, 161-167.
- [9] Xiao, X., Yuan, L., Zhong, J., Ding, T., Liu, Y., Cai, Z., ... & Wang, Z. L. (2011). High-strain sensors based on ZnO nanowire/polystyrene hybridized flexible films. *Advanced materials*, 23(45), 5440-5444.
- [10] Zhang, W., Zhu, R., Nguyen, V., & Yang, R. (2014). Highly sensitive and flexible strain sensors based on vertical zinc oxide nanowire arrays. *Sensors and Actuators A: Physical*, 205, 164-169.
- [11] Sharma, S. K., Rammohan, A., & Sharma, A. (2010). Templated one step electrodeposition of high aspect ratio n-type ZnO nanowire arrays. *Journal of colloid and interface science*, 344(1), 1-9.
- [12] Chang, P. C., Fan, Z., Wang, D., Tseng, W. Y., Chiou, W. A., Hong, J., & Lu, J. G. (2004). ZnO nanowires synthesized by vapor trapping CVD method. *Chemistry of materials*, 16(24), 5133-5137.
- [13] Ergen, O., & Zettl, A. K. (2020). High temperature Li-ion battery cells utilizing boron nitride aerogels and boron nitride nanotubes (No. 10,686,227). Lawrence Berkeley National Lab. (LBNL), Berkeley, CA (United States).
- [14] Ergen, O., Celik, E., Unal, A. H., Erdolu, M. Y., Sarac, F. E., & Unal, U. (2020). Real time chemical and mechanical human motion monitoring with aerogel-based wearable sensors. *Lab on a Chip*, 20(15), 2689-2695.
- [15] Zhou, J., Fei, P., Gu, Y., Mai, W., Gao, Y., Yang, R., ... & Wang, Z. L. (2008). Piezoelectric-potential-controlled polarity-reversible Schottky diodes and switches of ZnO wires. *Nano letters*, 8(11), 3973-3977.
- [16] Chen, H., Zhu, L., Liu, H., & Li, W. (2012). Growth of ZnO nanowires on fibers for one-dimensional flexible quantum dot-sensitized solar cells. *Nanotechnology*, 23(7), 075402.
- [17] Sze, S. M., & Ng, K. K. (2006). *Physics of semiconductor devices*. John Wiley & sons.
- [18] Kucheyev, S. O., Bradby, J. E., Williams, J. S., Jagadish, C., & Swain, M. V. (2002). Mechanical deformation of single-crystal ZnO. *Applied Physics Letters*, 80(6), 956-958.
- [19] Ting, S. Y., Chen, P. J., Wang, H. C., Liao, C. H., Chang, W. M., Hsieh, Y. P., & Yang, C. C. (2012). Crystallinity improvement of ZnO thin film on different buffer layers grown by MBE. *Journal of Nanomaterials*, 2012.



Asidik Ortamda Korozyon İnhibitörü Görevi Üstlenen Üç Pozitif Azot Atomu İçeren Tri-Katyonik Yüzey Aktif Maddelerin Sentezi

Serkan Öztürk^{1*}, Melek Meltem Özkazanlı¹, İlayda Akyıldız¹, Tuğçe Kara¹, Fatih Çelik¹

¹ Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Bursa, Türkiye
(ORCID: 0000-0002-9396-1403, Serkan Öztürk), (ORCID: 0000-0003-3873-8310, Melek Meltem Özkazanlı), (ORCID: 0000-0002-7753-4612, İlayda Akyıldız),
(ORCID: 0000-0003-0664-0132, Tuğçe Kara), (ORCID: 0000-0001-9142-3946, Fatih Çelik)
serkanozturk@uludag.edu.tr, welthew@gmail.com, ilydaakyildiz@gmail.com, tugcekarar9091@gmail.com, fhclik0394@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 8 Eylül 2020 ve Kabul Tarihi 31 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.792128)

ATIF/REFERENCE: Öztürk, S. Özkazanlı, M. M., Akyıldız, İ., Kara, T. & Çelik, F. (2021). Asidik Ortamda Korozyon İnhibitörü Görevi Üstlenen Üç Pozitif Azot Atomu İçeren Tri-Katyonik Yüzey Aktif Maddelerin Sentezi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 669-679.

Öz

Birçok endüstri dalının önemli sorunlarından birisi korozyondur. Özellikle metal endüstrisinde, metal yüzeyini deforme eder ve böylece metalik özelliklerinin kaybolmasına yol açar. Korozyonun bu olumsuz etkisine karşı, bu çalışmada, 1.0 M HCl ortamında meydana gelen metal korozyonunu önlemek için yapısında üç pozitif grup içeren tri-katyonik yüzey aktif maddeler sentezlenmiştir. Yapıları spektroskopik yöntemler (IR ve NMR) ile aydınlatıldıktan sonra bu bileşiklerin asidik korozif ortamda korozyon inhibisyon etkinlikleri kütle kaybı yöntemiyle incelenmiştir. Bunun için değişik konsantrasyonlarda inhibitör içeren korozif çözeltilere metal kuponlar oda sıcaklığında 24 saat süre ile daldırılmıştır. Yapılan korozyon testleri sonucu, sentezlenen yüzey aktif maddelerin düşük karbon çeliğinin asidik ortamdaki korozyonuna karşı çok etkin oldukları tespit edilmiştir. Korozyon inhibisyon mekanizması ile ilişkilendirmek için, sentezlenen tri-katyonik yüzey aktif maddelerin, kritik misel konsantrasyonu, yüzey gerilimi, misel oluşum serbest enerjisi gibi fizikokimyasal parametreleri hesaplanmıştır. Ayrıca, metal yüzeyini korozyona karşı koruduğunu desteklemek adına taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile metal yüzeyi görüntüleri alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sentez, Tri-katyonik yüzey aktif madde, Korozyon inhibitörü, HCl

Synthesis of Tri-Cationic Surfactants Containing Three Positive Nitrogen Atoms Acting as Corrosion Inhibitors in Acidic Medium

Abstract

One of the important problems of many branches of industry is corrosion. Especially in the metal industry, it deforms the metal surface, thereby causing it to lose its metallic properties. Against this adverse effect of corrosion, in this study, tri-cationic surfactant containing three positive groups in its structure was synthesized in order to prevent metal corrosion occurring in 1.0 M HCl medium. After their structures were elucidated by spectroscopic methods (IR and NMR), the corrosion inhibition activities of these compounds in acidic corrosive medium were investigated by weight loss method. For this, metal coupons are immersed in corrosive solutions containing different concentrations of inhibitor for 24 hours at room temperature. As a result of the corrosion tests conducted, it has been determined that the synthesized surfactants are very effective against the corrosion of low carbon steel in acidic environment. In order to associate with the corrosion inhibition mechanism, the physicochemical parameters of the synthesized tri-cationic surfactants such as critical micelle concentration, surface tension, micelle formation free energy were calculated. In addition, images of the metal surface were taken with a scanning electron microscope (SEM) to support it protects the metal surface against corrosion.

Keywords: Synthesis, Tri-cationic surfactant, Corrosion inhibitor, HCl

* Sorumlu Yazar: serkanozturk@uludag.edu.tr

1. Giriş

Teknolojinin gelişimi ile hemen hemen her alanda artış gösteren metal ve alaşımlarının kullanımı beraberinde korozyon problemini getirmiştir. Korozyon, metallerin buldukları ortamda elektrokimyasal ya da kimyasal reaksiyonlara girerek özelliklerini yitirmesi olayıdır (Bereket ve Gerengi, 2006). Korozyon özellikle metallerin doğada buldukları daha kararlı şekle geri dönme isteklerinden kaynaklanmaktadır. Enerji ve emek harcanarak doğadan kazanılan malzemeler korozyon olayı ile tekrar doğaya dönmektedirler. Bunun için ise ortam ile çeşitli elektrokimyasal ve kimyasal etkileşimlere girmesi gerekmektedir. Örneğin: Çeliğin ana bileşeni olan demir, çeşitli türler oluşturmak için su, oksijen ve hidrojen iyonları ile etkileşime girer. Çelikteki demir, demir oksiti oluşturmak için sudaki oksijenle reaksiyona girebilir. Oluşan bu demir oksit kararlıysa, demir yüzeyinde, korozyonu yavaşlatan ancak durduramayan bir tabaka oluşturabilir. Asit çözeltisinden gelen hidrojen iyonları doğrudan demire saldırabilirdiği gibi, çözünmüş demir ve su oluşturmak üzere demir oksitler ile de reaksiyona girer. Dolayısıyla, hidrojen iyonları demir korozyonuna karşı özellikle zararlıdır (Zhu ve ark. 2017). Ancak endüstride, metal yüzeylerdeki pasın ve yabancı maddelerin temizlenmesi için asitle temizleme sıklıkla kullanılmaktadır. Bu amaç için de en çok HCl ve H₂SO₄ çözeltileri kullanılmaktadır (Bereket ve Pinarbasi, 2008). Problem şu ki, asitle yıkamanın sonucu olarak ilgili metal yüzeyinde metal korozyonu olayı meydana gelmektedir.

Korozyon, endüstride kullanılan kauçuk, cam seramik, plastik, emaye ve bileşik malzemelerini de ilgilendiren önemli bir sorundur (Üneri, 1998). Bunların dışında, korozyon, petrol sahası uygulamalarında araştırılmaya değer bir konudur; çünkü korozyon sorunları dünya çapında her yıl metal, petrol ve gaz üreten şirketler için toplam maliyetlerin büyük bir bölümünü temsil etmektedir. Ayrıca, uygun korozyon kontrolünün yapılması, ürün kaybı, yaşam kaybı, su kaynağı ve çevre kirliliği gibi ciddi sorunlara neden olabilecek birçok potansiyel afetten kaçınmaya yardımcı olabilmektedir (Finşgar ve Jackson, 2014).

Korozyona karşı mücadelede, birkaç yöntem bilinmekle birlikte bunların içerisinde en önemli olanlarından biri, özellikle asidik korozif ortamda, inhibitör kullanmaktır. Korozyon inhibitörü, ortama düşük konsantrasyonlarda eklendiğinde korozyon hızını önemli ölçüde azaltan maddedir. Bu maddeler metal yüzeyine tutunarak yüzeyi örten koruyucu bir film tabakası oluşturmalıdır. Bunun için de öncelikli koşul, korozif çözelti ortamında yeterince iyi çözünmesi gerekmektedir (Öztürk, 2018).

Literatürde korozyon hızının daha fazla olduğu korozif asidik ortamda çok fazla korozyon inhibitörü olarak görev yapan bileşikler sentezlenmiştir. Bunların içerisinde özellikle son yıllarda katyonik yüzey aktif maddeler önemli bir yer tutmuştur. Bu bileşiklerin, yapısına bağlı olsa da, korozif ortamda iyi çözünmeleri, metal yüzeyine fiziksel ve kimyasal yollarla iyi tutunmaları korozyon hızını azaltmalarında ve böylece metal korozyonuna karşı mücadele vermelerinde etkili olmuştur (Hegazy ve ark., 2016-a; Öztürk, 2017; Yıldırım ve ark., 2013; Shalabi ve ark., 2019). İki adet pozitif yüklü grup içeren di-katyonik gemini tipi (simetrik ikiz yapıda) (Feng ve ark., 2018; Abd El-Lateef ve ark., 2016; Asefi ve ark., 2010) ve gemini tipi olmayan (Hegazy ve ark., 2016-b; Öztürk, 2019) yüzey aktif maddelerin korozyon inhibitörü olarak kullanıldığı çalışmalar da mevcuttur. Bu çalışmaların tamamında sentezlenen yüzey aktif

maddelerin anti-korozyon etkisi gravimetrik ölçümlere dayalı kütle kaybı testleriyle araştırılmıştır. Katyonik yüzey aktif maddeler içerisinde korozyon inhibitörü olarak kullanılan ve yapısında üç adet pozitif grup içeren tri-katyonik yüzey aktif maddeler ile ilgili az sayıda çalışma vardır. Örneğin, bu çalışmalardan Bensajay ve ark. 2011 düz zincirli amonyum tuzunun 1.0M HCl ortamındaki korozyona karşı inhibitör performansını araştırmışlardır. Bir başka çalışmada ise EldougDoug ve ark. 2018, setil-2-kloroasetatın di-amid ile reaksiyonu sonucu tri-katyonik yüzey aktif maddeyi sentezlemiş ve kütle kaybı ile potansiyodinamik polarizasyon yöntemleri kullanılarak hidroklorik asit çözeltilerinde karbon çeliği için korozyon inhibitörü olarak incelemişlerdir.

Bu araştırmada, vanilin bileşiğinden türetilmiş ve yapısında üç adet pozitif yüklü azot atomu içeren tri-katyonik yüzey aktif maddelerin sentezlenmesi hedeflenmiştir. Bu bileşiklere ilişkin, kritik misel konsantrasyonu (KMK), bu konsantrasyon değerindeki yüzey gerilimi ve misel oluşum serbest enerji (ΔG_{misel}) değeri gibi bazı fizikokimyasal parametreler belirlenmeye çalışılmıştır. Daha sonra değişik inhibitör konsantrasyonlarında, kütle kaybı yöntemi kullanılarak, 1.0 M HCl asidik ortamında düşük karbon çeliği üzerinde oluşacak korozyona karşı etkinliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Sentezler için kullanılan reaktif ve çözücü kimyasalları Merck ve Sigma-Aldrich firmalarından temin edilmiştir. Son ürün olarak sentezlenen tri-katyonik yüzey aktif madde bileşiklerinin FT-IR spektrumları Bruker Tensor II FT-IR spektrometresi cihazı ile elde edilmiştir. Aynı bileşiklerin NMR spektrumları ise (¹H-NMR ve ¹³C-NMR) DMSO (Dimetilsülfoksit) çözücüsü içerisinde Agilent 600 MHz Premium Compact NMR spektrometresi cihazı ile elde edilmiştir. Metal kuponların sabit tartıma gelene kadar kurutulmaları için NUVE EV 018 marka vakum etüvü kullanılmıştır.

2.2. Bileşiklerin Sentezleri

Reaksiyon serisinin çıkış ürünü olan **1** nolu bileşik yaygın olarak bilinen Fischer esterleşme prosedürüne göre sentezlenmiştir. Organik asit olarak 11-bromundekanoik asit, alkol olarak ise metanol kullanılmıştır. Reaksiyon serisinin devamında vanilin kullanılarak gerçekleştirilen sentezler kapsamında elde edilen **2**, **3** ve **4** nolu bileşikler, daha önce benzer bileşikler için rapor edilen deneysel yöntemlerin aynısı kullanılmıştır (Öztürk, 2013; Yıldırım ve ark. 2013). Bundan sonraki sentezler için **4** nolu bileşik çıkış maddesi olarak değerlendirilmiştir.

2.2.1. 1-(3-metoksi-4-((11-metoksi-11-oksoundesil)oksi)benzil)piridin-1-ium klorür (5) bileşiğinin sentezi

Reaksiyon balonuna **4** nolu bileşik (1.64 g, 4.42 mmol), piridin (0.6 mL, 6.63 mmol) ve 20 mL metanol konuldu. Reaksiyon balonu geri soğutucu altında yaklaşık 48 saat kaynatıldı. Sürenin sonunda metanol çözücüsü evaporatörde buharlaştırıldı. Ham ürün aseton/eter karışımıyla kristallendirildi. Ürün açık kahverengi renkte elde edildi. Verim: 0.752 g (%38), E.N.: 121-122 °C.

2.2.2. 1-(4-((11-((3-(dimetilamino)propil)amino)-11-oksoundesil)oksi)-3-metoksibenzil)piridin-1-ium klorür (6) bileşiğinin sentezi

Ester grubu içeren piridinyum tuzu **5** (0.8569 g, 1.90 mmol), N,N-dimetil-1-propilamin bileşiği (0.1946 g, 1.90 mmol) ve 20 mL metanol çözücüsü reaksiyon balonuna konuldu. Balon 24 saat süre ile geri soğutucu altında yaklaşık 200 °C sıcaklıkta ısıtıldı. Sürenin sonunda çözücü evaporatörde buharlaştırıldı ve elde edilen ham ürün yağimsı olduğundan kristallendirilmeden bir sonraki aşamada kullanıldı. Verim: 0.745 g (%75).

2.2.3. 1-(4-((11-((3-(dimetil(2-(trimetilammonio)etil)ammonio)propil)amino)-11-oksoundesil)oksi)-3-metoksibenzil)piridin-1-ium klorür dibromür (7) bileşiğinin sentezi

Amid grubuna sahip piridinyum tuzu **6** (0.745 g, 1.43 mmol), 2-bromo-trimetil-amonyum bromür bileşiği (0.3581 g, 1.45 mmol) ve 20 mL etanol çözücüsü reaksiyon balonuna konuldu. Reaksiyon balonu yaklaşık 50 saat 150 °C sıcaklıkta geri soğutucu altında kaynatıldı. Sürenin sonunda etanol çözücüsü evaporatörde buharlaştırıldı ve karışım aseton konup ısıtıldı. Aseton ile ısıtma süresince reaksiyona girmeden kalan 2-bromo-trimetil-amonyum bromür bileşiği çöktü ve çöken kısım vakum altında süzülde. Aseton süzütüsünden aseton buharlaştırılarak açık sarı renkte ürün elde edildi. Verim: 0.34 g (% 31), E.N.: 80-81 °C. **IR (Attenuated total reflection [ATR]):** ν_{\max} (cm⁻¹): 3400 (N – H, amit), 3050 (C – H, aromatic), 2917 (C – H, alifatik), 2852 (C – O, Ar – OCH₃), 1728 (C = O, amit), 1257 ve 1236 (ArC – O – CH₃ ile ArC – O – CH₂ –). **¹H NMR (600 MHz, DMSO-d₆) δ (ppm):** 9.21 (d, 2H, Py – H, $J = 8.8$ Hz), 8.59 (t, 1H, Py – H, $J = 8.3$ Hz), 8.14 (t, 1H, Py – H, $J = 8.3$ Hz), 6.87 (s, 1H, Ar – H), 6.86 (dd, 1H, Ar – H, $J = 8.5, 2.5$ Hz), 6.78 (dd, 1H, Ar – H, $J = 8.5, 0.5$ Hz), 5.73 (s, 1H, CO – NH), 4.28 [s, 2H, Ar – CH₂ – N⁺ – Py⁺], 4.08 (t, 2H, Ar – O – CH₂ – CH₂ –, $J = 7.4$ Hz), 3.91 – 3.87 [4H, (t, 2H, N⁺(CH₃)₂ – CH₂ – CH₂ – N⁺(CH₃), $J = 7.3$ Hz) ve (t, 2H, N⁺(CH₃)₂ – CH₂ – CH₂ – N⁺(CH₃), $J = 7.3$ Hz)], 3.72 (s, 3H, Ar – O – CH₃), 3.55 [s, 6H, N⁺(CH₃)₂ – CH₂ – CH₂ – N⁺], 3.35 [s, 9H, N⁺(CH₃)₂ – CH₂ – CH₂ – N⁺(CH₃)₃], 3.22 (t, 2H, O=C – NH – CH₂ – CH₂ –, $J = 7.6$ Hz), 3.12 (t, 2H, O=C – NH – CH₂ – CH₂ – CH₂ – N⁺, $J = 7.8$ Hz), 2.48 (quin, 4H, O=C – NH – CH₂ – CH₂ – CH₂ – N⁺, $J = 7.8$ Hz), 2.26 (t, 2H, – CH₂ – CO – NH –, $J = 7.4$ Hz), 1.66 (quin, 2H, Ar – O – CH₂ – CH₂ – CH₂ –, $J = 7.4$ Hz), 1.48 (quin, 2H, – CH₂ – CH₂ – CO – NH –, $J = 7.7$ Hz), 1.36 (quin, 2H, Ar – O – CH₂ – CH₂ – CH₂ –, $J = 7.5$ Hz), 1.28 (t, 9H, Ar – CH₂ – N⁺(CH₂ – CH₃)₃, $J = 7.1$ Hz), 1.25 – 1.20 (m, 10H, Ar – O – CH₂ – CH₂ – CH₂ – (CH₂)₅ – CH₂ – CH₂ – CO – NH –). **¹³C NMR (150 MHz, DMSO-d₆) δ (ppm):** 173.81 (1C, C=O), 149.24 (1C, Ar – C – O – CH₂ –), 147.98 (1C, Ar – C – O – CH₃), 146.19 (1C, Py⁺ – C para), 144.94 (2C, Py⁺ – C orto), 131.01 (1C, Ar – C – CH₂ – Py⁺), 128.77 (2C, Py⁺ – C meta), 120.50 (1C, Ar – C), 113.05 (1C, Ar – C), 112.09 (1C, Ar – C), 73.99 (1C, Ar – O – CH₂ –), 68.56 (1C, O=C – NH – CH₂ – CH₂ – CH₂ – N⁺), 57.61 [2C, N⁺(CH₃)₂ – CH₂ – CH₂ – N⁺(CH₃)₃], 56.09 (1C, Ar – C – CH₂ – Py⁺), 55.85 (1C, Ar – O – CH₃), 53.16 (3C, N⁺(CH₃)₂ – CH₂ – CH₂ – N⁺(CH₃)₃], 51.61 (2C, N⁺(CH₃)₂ – CH₂ – CH₂ – N⁺), 36.80 (1C, O=C – NH – CH₂ – CH₂ – CH₂ – N⁺), 33.69 (1C, – CH₂ – CO – NH –), 29.55 – 28.90 (7C, Ar – O – CH₂ – (CH₂)₇ – CH₂ – CH₂ – CO – NH), 25.96 (1C, – CH₂ – CH₂ – CO – NH), 24.81 (1C, O=C – NH – CH₂ – CH₂ – CH₂ – N⁺).

2.2.4. N,N-dietil-N-(3-metoksi-4-((11-metoksi-11-oksoundesil)okso)benzil)etanaminium klorür 8 bileşiğinin sentezi

Reaksiyon balonuna **4** nolu bileşik (3.26 g, 8.79 mmol), trietilamin (0.90 g, 8.91 mmol) ve 30 mL metanol konuldu. Reaksiyon balonu geri soğutucu altında yaklaşık 48 saat kaynatıldı. Sürenin sonunda metanol çözücüsü evaporatörde buharlaştırıldı. Çok açık kahverenkli wax-tarzında katı ürün elde edildi. Verim: 4.10 g (%99), E.N.: 40-41 °C.

2.2.5. N-(4-((11-((3-(dimetilamino)propil)amino)-11-oksoundesil)oksi)-3-metoksibenzil)-N,N-dietiletanaminium klorür 9 bileşiğinin sentezi

Ester grubu içeren trietilaminyum tuzu **8** (4.10 g, 8.47 mmol), N,N-dimetil-1-propilamin bileşiği (0.866 g, 8.47 mmol) ve 30 mL metanol çözücüsü reaksiyon balonuna konuldu. Balon 24 saat süre ile geri soğutucu altında yaklaşık 200 °C sıcaklıkta ısıtıldı. Sürenin sonunda çözücü evaporatörde buharlaştırıldı. Açık kahverenkli waks-tarzında katı ürün elde edildi Verim: 3.87 g (%84), E.N.: 44-45 °C.

2.2.6. N¹-(3-(11-(2-metoksi-4-(trietilammonio)metil)fenoksi)undekanamido)propyl)-N¹,N¹,N²,N²,N²-pentametiletan-1,2-diaminium klorür dibromür 10 bileşiğinin sentezi

Amid grubuna sahip trietilaminyum tuzu **9** (3.63 g, 6.70 mmol), 2-bromo-trimetil-amonyum bromür bileşiği (1.654 g, 6.70 mmol) ve 30 mL etanol çözücüsü reaksiyon balonuna konuldu. Reaksiyon balonu yaklaşık 50 saat 150 °C sıcaklıkta geri soğutucu altında kaynatıldı. Sürenin sonunda etanol çözücüsü evaporatörde buharlaştırıldı ve karışım aseton konup ısıtıldı. Aseton ile ısıtma süresince reaksiyona girmeden kalan 2-bromo-trimetil-amonyum bromür bileşiği çöktü ve çöken kısım vakum altında süzülde. Aseton süzütüsünden aseton buharlaştırılarak kahverenkli waks-tarzında katı ürün elde edildi. Verim: 2.99 g (% 56), E.N.: 42-43 °C. **IR (Attenuated total reflection [ATR]):** ν_{\max} (cm⁻¹): 3420 (N – H, amit), 3020 (C – H, aromatic), 2921 (C – H, alifatik), 2853 (C – O, Ar – OCH₃), 1731 (C = O, amit), 1259 ve 1234 (ArC – O – CH₃ ile ArC – O – CH₂ –). **¹H NMR (600 MHz, DMSO-d₆) δ (ppm):** 6.87 (dd, 1H, Ar – H, $J = 8.4, 2.8$ Hz), 6.86 (s, 1H, Ar – H), 6.78 (dd, 1H, Ar – H, $J = 8.4, 0.5$ Hz), 4.28 [s, 2H, Ar – CH₂ – N⁺ – (Et)₃], 3.88 (t, 2H, Ar – O – CH₂ – CH₂ –, $J = 7.4$ Hz), 3.72 (s, 3H, Ar – O – CH₃), 3.55 [s, 6H, N⁺(CH₃)₂ – CH₂ – CH₂ – N⁺], 3.43 – 3.34 [6H, 3.43 (t, 2H, N⁺(CH₃)₂ – CH₂ – CH₂ – N⁺(CH₃), $J = 7.3$ Hz), 3.36 (t, 2H, N⁺(CH₃)₂ – CH₂ – CH₂ – N⁺(CH₃), $J = 7.3$ Hz), 3.34 (t, 2H, O=C – NH – CH₂ – CH₂ –, $J = 7.6$ Hz)], 3.22 [s, 9H, N⁺(CH₃)₂ – CH₂ – CH₂ – N⁺(CH₃)₃], 3.11 [quin, 6H, Ar – CH₂ – N⁺(CH₂ – CH₃)₃, $J = 7.1$ Hz], 2.81 (t, 2H, O=C – NH – CH₂ – CH₂ – CH₂ – N⁺, $J = 7.8$ Hz), 2.48 (quin, 4H, O=C – NH – CH₂ – CH₂ – CH₂ – N⁺, $J = 7.8$ Hz), 2.26 (t, 2H, – CH₂ – CO – NH –, $J = 7.4$ Hz), 1.67 (quin, 2H, Ar – O – CH₂ – CH₂ – CO – NH –, $J = 7.4$ Hz), 1.48 (quin, 2H, – CH₂ – CH₂ – CO – NH –, $J = 7.7$ Hz), 1.36 (quin, 2H, Ar – O – CH₂ – CH₂ – CH₂ –, $J = 7.5$ Hz), 1.28 (t, 9H, Ar – CH₂ – N⁺(CH₂ – CH₃)₃, $J = 7.1$ Hz)], 1.26 – 1.20 (m, 10H, Ar – O – CH₂ – CH₂ – CH₂ – (CH₂)₅ – CH₂ – CH₂ – CO – NH –). **¹³C NMR (150 MHz, DMSO-d₆) δ (ppm):** 173.80 (1C, C=O), 149.25 (1C, Ar – C – O – CH₂ –), 147.98 (1C, Ar – C – O – CH₃), 131.01 (1C, Ar – C – CH₂ – N⁺), 120.48 (1C, Ar – C), 113.03 (1C, Ar – C), 112.07 (1C, Ar – C), 74.00 (1C, Ar – O – CH₂ –), 68.56 (1C, O=C – NH – CH₂ – CH₂ – CH₂ – N⁺), 61.15 (1C, Ar – C – CH₂ – N⁺), 57.60 [2C, N⁺(CH₃)₂ – CH₂ – CH₂ – N⁺(CH₃)₃], 55.83 (1C, Ar – O – CH₃), 53.17 (3C, N⁺(CH₃)₂ –

$\text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{N}^+(\text{CH}_3)_3$], 51.59 (2C, $\text{N}^+(\text{CH}_3)_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{N}^+$), 33.69 (1C, $\text{O}=\text{C} - \text{NH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{N}^+$), 33.00 (1C, $-\text{CH}_2 - \text{CO} - \text{NH} -$), 29.56 – 28.91 (7C, $\text{Ar} - \text{O} - \text{CH}_2 - (\text{CH}_2)_7 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CO} - \text{NH}$), 25.97 (1C, $-\text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CO} - \text{NH}$), 24.88 (1C, $\text{O}=\text{C} - \text{NH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{N}^+$) 7.91 [3C, $\text{Ar} - \text{CH}_2 - \text{N}^+(\text{CH}_2 - \text{CH}_2)_3$].

2.3. Sentezlenen İnhibitörlerin Kritik Misel Konsantrasyonun (KMK) Belirlenmesi

Sentezlenen tri-katyonik yüzey aktif maddelerin kritik misel konsantrasyonu kondüktometrik yöntem kullanılarak belirlendi. İletkenlik ölçümleri OHAUS Starter 3100M marka dijital iletkenlik ölçer cihazı kullanılarak gerçekleştirildi. Her bir yüzey aktif maddede spesifik iletkenliği ölçmek için, adım adım seyreltme-ekstraksiyon yöntemi takip edildi. KMK değerleri, yüzey aktif madde konsantrasyonuna karşı her iletkenlik eğrisindeki kırılma noktasından tespit edildi.

2.4. Kritik Misel Konsantrasyonundaki Yüzey Gerilimi

Tri-katyonik yüzey aktif maddelerin kritik misel konsantrasyonundaki sulu çözeltilerinin yüzey gerilimleri, kapiler yükselme yöntemi ile ölçülmüştür (Sugden, 1921 ve Martino ve ark. 2006). Ölçüm için kullanılan kapiler, Na-heparinize mikro hematokrit tüptür (NRIS, Soda Kireç camı, çap = 1.0 mm, uzunluk = 75 mm). İlgili değerler 20 °C'de ölçüldü.

2.5. Asidik Ortamda Yapılan Korozyon Testleri

Asidik ortamda gerçekleştirilen korozyon testlerinde düşük karbon içerikli soğuk haddelenmiş çelikten hazırlanan metal plakalar kullanıldı. Bu çelik malzeme DIN EN 10130 (DIN Standart, 2007) normuna uygundur ve bileşimi % 0.07 (C), % 0.35 (Mn), % 0.015 (P), % 0.015 (S) ve gerisi Fe' dir. Metal plakalar dikdörtgen şeklinde ve 0.1 cm kalınlığında, 2.0 cm genişliğinde ve 5.0 cm uzunluğunda olacak şekilde kesildi.

Gravimetrik ölçümlere dayalı yapılan korozyon testlerinin hazırlık aşaması literatürde daha önce bildirilen yöntem ile yapıldı (Öztürk, 2018). Bunun için 0.1 cm kalınlığında, 2.0 cm genişliğinde ve 5.0 cm uzunluğunda kesilen metal plakalar, 5 dakika boyunca % 15'lik HCl çözeltisi içinde bekletilerek pas lekeleri ile oksit tabakalarının temizlenmesi sağlandı. Ardından plakalar piset kullanılarak saf su ile temizlendi. Kurutulan metal plakaların yüzeyi, zımpara kağıdı (150) ile zımparalandıktan sonra, bir süre aseton içerisinde bekletildi. Aseton içerisinden çıkarılan plakalar sabit tartıma gelene kadar önce vakum etüvünde

daha sonra da kısa süre açık havada kurutuldu ve test öncesi metal plakanın kütlesi tartıldı.

Asidik sulu ortamda gerçekleştirilen korozyon testleri öncesi 1.0 M HCl çözeltisi taze olarak hazırlandı. Teste tabi tutulan tri-katyonik yüzey aktif maddeler belirli miktarlarda tartıldıktan sonra 100 mL 1.0 M HCl içerisinde çözülerek 150 mL'lik kapaklı cam kaplar içerisine konuldu. Bu şekilde, yüzey aktif maddelerin asidik ortamdaki 10, 25, 50 ve 100 ppm çözeltileri hazırlanmış oldu. Diğer taraftan kontrol testi ve karşılaştırma için, bir başka cam kaba 100 mL 1.0 M HCl konuldu ve içerisine inhibitör eklenmedi. Hazırlanan bu inhibitörsüz ve inhibitörlü asidik çözeltilere test öncesi tartımı alınan metal plakalar bir iple bağlanarak daldırıldı ve oda sıcaklığında 24 saat süreyle, çözeltiler karıştırılmadan, bekletildi. Test süresinin ardından, korozif ortamdan çıkarılan metal plakalar piset kullanılarak saf su ile durulandı. Akabinde plakalar aseton ile temizlenerek önce vakum etüvünde daha sonra kısa süre açık havada kurutuldu ve metalin test sonrası kütlesi tartıldı. Test öncesi ile test sonrası metal kütleleri arasındaki fark alınarak, herbir korozif çözeltiye daldırılmış metal kuponlardaki kütle kaybı hesaplandı.

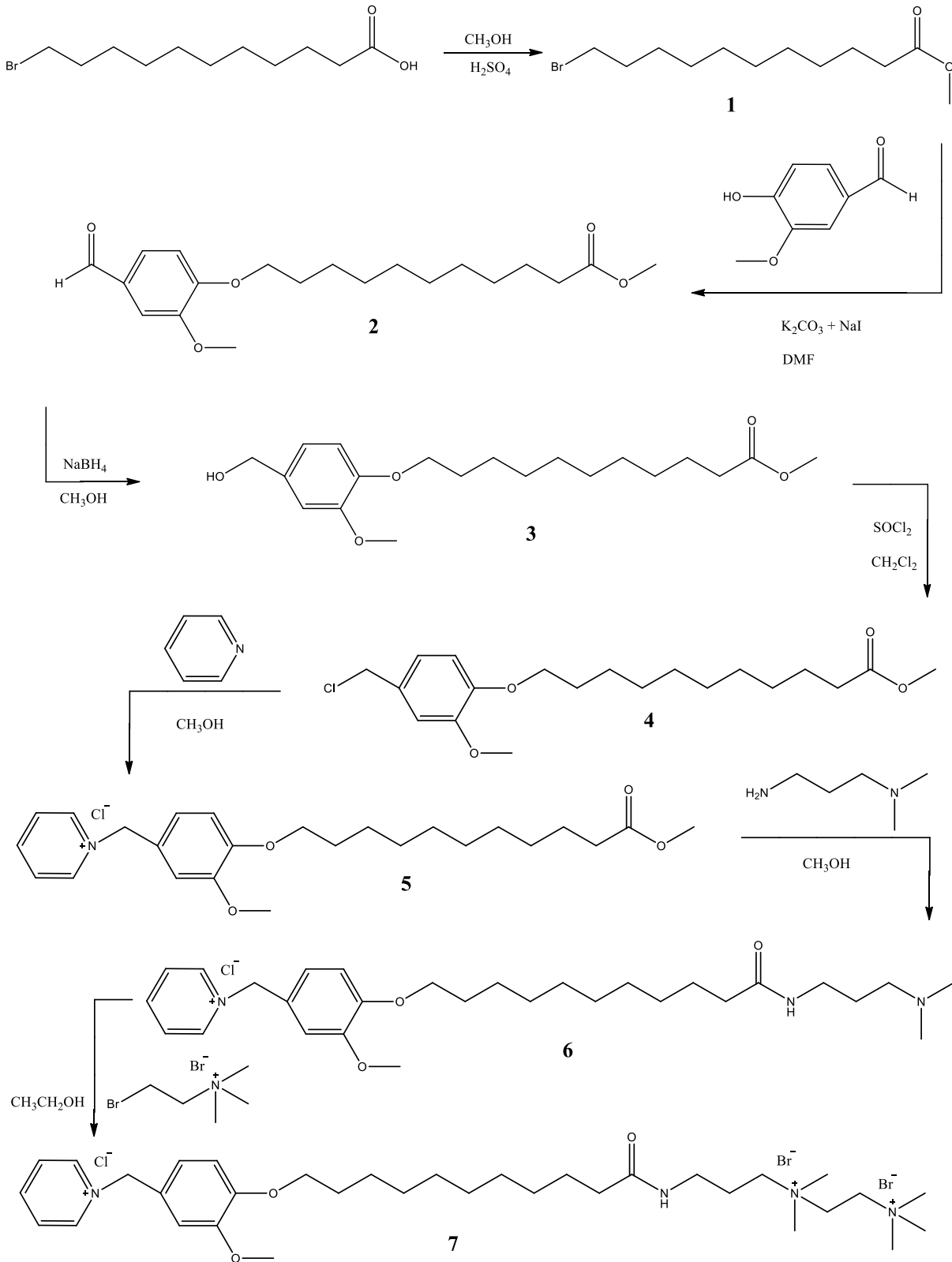
2.6. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile Metal Yüzeyi Görüntüsü Alma

Metal yüzeyinin SEM görüntüsü, 0.1 cm kalınlığında, 2.0 cm genişliğinde ve 2.0 cm uzunluğunda kare şeklinde kesilen metal plakalarda alındı. Asidik ortamda gerçekleştirilen korozyon testlerinin ardından metal plakalar aseton ile yıkayıp vakum desikatöründe kurutulduktan sonra taramalı elektron mikroskobu cihazı (Carl Zeiss EVO 40) ile, yüksek vakum altında, metal yüzeylerin 1000 kat büyütülmüş ortamlarına ait SEM görüntüleri elde edildi.

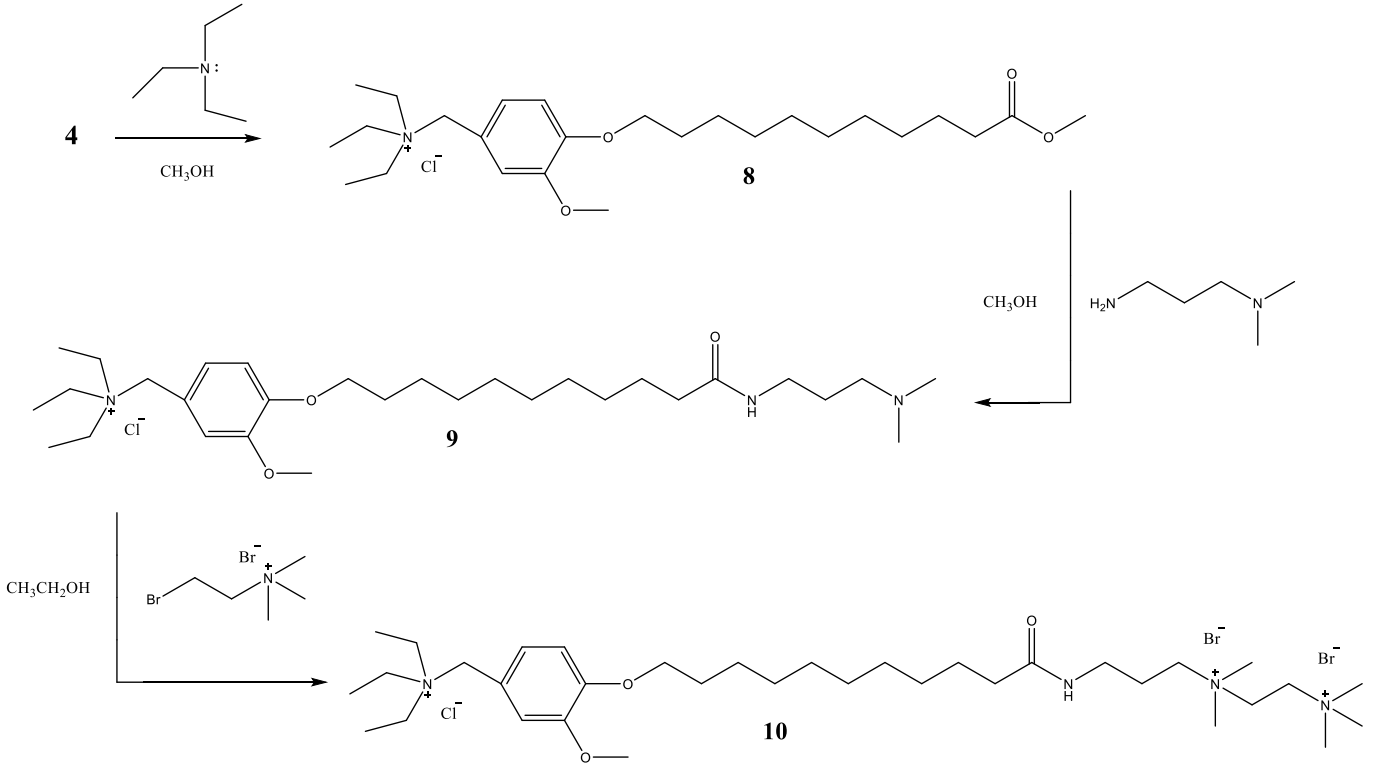
3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Tri-katyonik yüzey aktif maddelerin sentezi ve spektroskopik (IR ve NMR) analizi

Korozyon inhibitörü olarak uygulaması olan 2 adet tri-katyonik yüzey aktif maddenin sentez şemaları sırasıyla Şekil 1 ve 2 'de verilmiştir. Şekillerde de görüldüğü üzere, her iki yüzey aktif maddenin sentezinde, 4 nolu bileşiğe kadar olan sentezler ortak ve aynı. Bu noktadan sonra ise iki maddenin sentez yolları ayrılıp, bileşiklerde tri-katyonik azot grupları oluşmaktadır. İki bileşikte kimyasal yapı farkı olarak, 7 nolu yüzey aktif maddede piridinyum, 10 nolu yüzey aktif maddede ise trietilaminyum katyonik grupların bulunduğu görülmektedir.



Şekil 1. Piridinyum katyonu içeren trikatyonik yüzey aktif maddenin sentez şeması



Şekil 2. Trietilamin tuzu içeren trikatyonik yüzey aktif maddenin sentez şeması

Bileşiklere ait IR ve NMR spektrumları “Ekler” kısmında verilmiştir. IR spektrum verilerine bakıldığında, 7 nolu yüzey aktif madde için, 3400 cm⁻¹’deki pik amit N – H grubuna, 3050 cm⁻¹ civarındaki pik aromatik halkalardaki C – H grubuna, 1728 cm⁻¹’de görülen pik amit bağına ait karbonil grubuna (C = O) ve 1257 ile 1236 cm⁻¹’de görülen pikler aromatik halkadaki karbonlara bağlı iki adet C – O gruplarına aittir. 10 nolu bileşikte de aynı gruplara ait pikler sırasıyla, 3420, 3020, 1731, 1259 ve 1234 cm⁻¹’de görülmektedir. Her iki bileşiğe ait NMR verilerine bakıldığında ise, özellikle, 7 nolu yüzey aktif maddenin yapısında yer alan piridinyum halkasındaki C – H gruplarına ait pikleri, ¹H NMR spektrumunda 9.21, 8.59 ve 8.14 ppm’de yer almakta iken ¹³C NMR spektrumunda ise 146.19, 144.94 ve 128.77 ppm’de olduğu görülmektedir. 10 nolu bileşikte piridinyum halkası

bulunmadığından söz konusu bu pikler görülmemektedir. Ayrıca her iki inhibitörün ¹H NMR spektrumunda 4.28 ppm civarında görülen Ar – CH₂ – N⁺ – Py⁺ ile Ar – CH₂ – N⁺ – (Et)₃ gruplarına ait singlet pikler bileşiklerin sentezlendiğini göstermektedir.

3.2. Kütle kaybı yönteminden hesaplanan korozyon hızı ve korozyon inhibisyon etkinlikleri

Metal yüzeyine tutturulmuş farklı konsantrasyonlardaki 7 ve 10 nolu tri-katyonik yüzey aktif maddelerin, 24 saat süreyle 1.0 M HCl asit çözeltisine daldırılması sonucu metal plakalardaki kütle kaybından hesaplanan korozyon hızı ve inhibisyon etkinliği sonuçları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. 1.0 M HCl ortamında yüzey aktif maddelerin (7 ve 10 nolu bileşikler) farklı konsantrasyonları için oda sıcaklığında 24 saat süreyle maruz bırakılan metal kuponlardaki kütle kaybı ölçümü ile hesaplanan korozyon hızı ve korozyon inhibisyon etkinlikleri.

Konsantrasyon (ppm)	Korozyon Hızı (mg cm ⁻² sa ⁻¹) x 10 ⁻²		İnhibisyon Etkinliği (% IE)	
	7	10	7	10
0	65.58	65.58	—	—
10	5.67	13.38	91.36	79.61
25	3.46	12.54	94.72	80.88
50	2.38	9.96	96.38	84.81
100	2.25	7.17	96.57	89.07

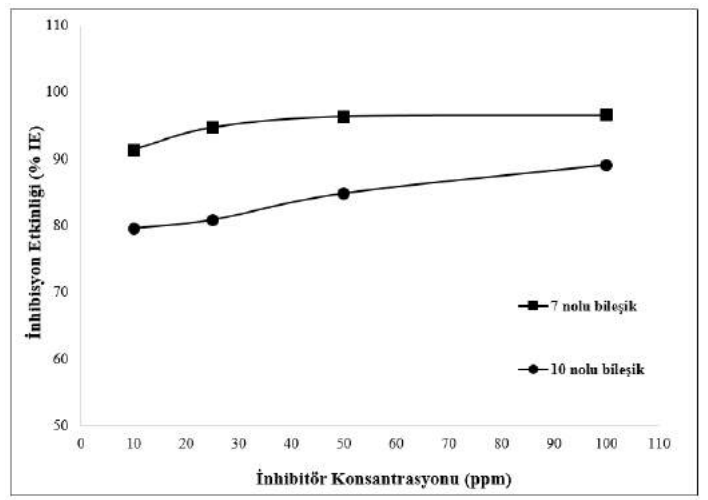
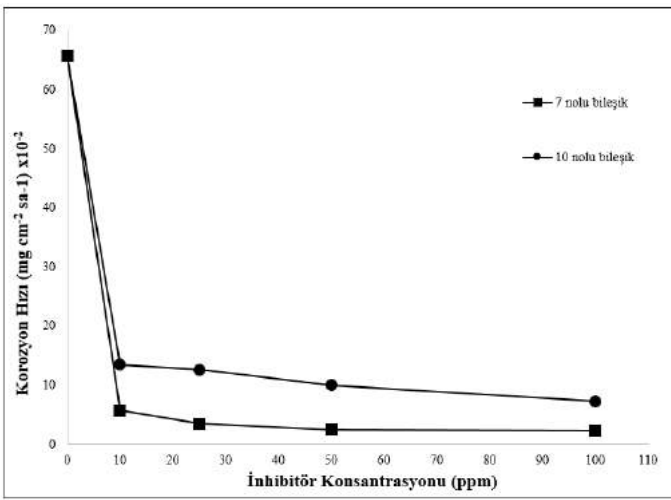
Korozyon hızı (K.H.) aşağıda verilen formülle (1) hesaplanmıştır (Abdelrazik ve ark., 2015; Lashgari ve ark., 2010):

$$\text{Korozyon hızı (K.H.)} = \frac{\Delta W}{A \times t} \quad (1)$$

Burada; ΔW : mg cinsinden kütle kaybı, A: cm^2 cinsinden metal plaka yüzey alanı, t: saat cinsinden zamanı ifade etmektedir. Korozyon inhibisyon etkinliği sonuçları ise şu formülle (2) belirlenmiştir (Gerengi ve ark., 2018).

$$\% \text{ IE} = \frac{W_o - W}{W_o} \times 100 \quad (2)$$

Burada; % IE : yüzde inhibisyon etkinliği, W_o : inhibitör olmayan korozif çözeltideki metalin kütle kaybı, W: inhibitör içeren korozif çözeltideki metalin kütle kaybıdır.



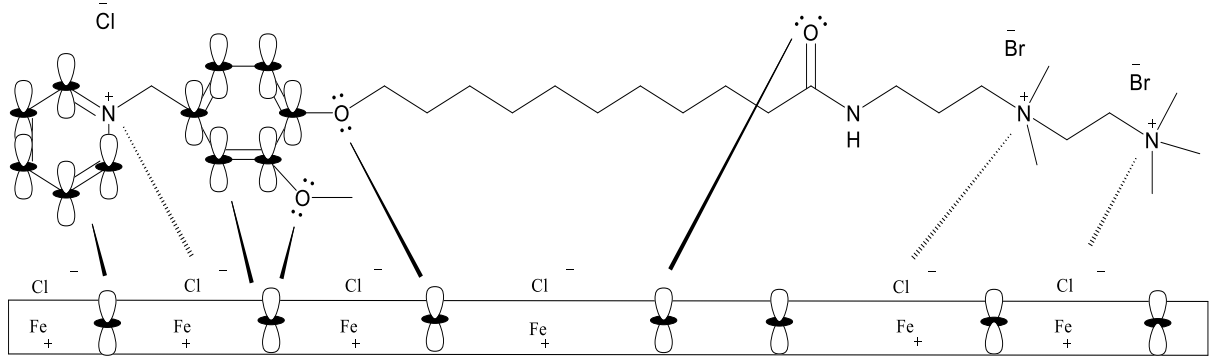
Şekil 3. Konsantrasyona bağlı olarak korozyon hızı ve inhibisyon etkinliğindeki değişimlerin grafiksel görünümü

İnhibitör olarak kullanılan yüzey aktif madde metale tutunduktan sonra, asidik ortamda korozyon olayına sebebiyet veren yarı reaksiyonların (anot: metaldeki demirin 2+ yükseltgenme basamağına yükseltgenmesi ve katot: HCl'den gelen H⁺ iyonunun H₂'e indirgenmesi) her birine ya da ikisine de engel olarak metal yüzeyini korozyonun zararlı etkilerine karşı dayanıklı kılar. Bu elektrokimyasal reaksiyonların engellenmesi hem korozyon hızının düşmesine bağlı olarak inhibitörün inhibisyon etkinliğinin artmasına, hem de metal yüzeyinin korozyona karşı korunmasına neden olmaktadır.

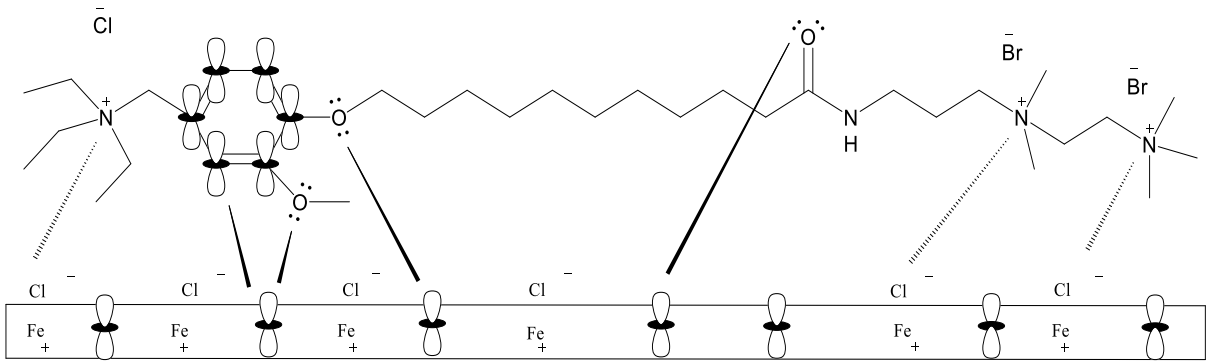
Sentezlenen tri-katyonik yüzey aktif maddelerin yapılarını karşılaştırdığımızda, maddelerdeki tek yapı farkı, birinde katyonik grup olarak piridinyum halkası varken, diğerinde ise halkalı yapıda olmayan aminyum katyonik grubu yer almaktadır. Bileşiklerin kimyasal yapılarındaki diğer kısımları aynıdır. Yapılarındaki katyonik gruplarındaki bu farklılık inhibisyon etkinliklerinin birbirinden farklı çıkmasını açıklamaktadır. Şekil 4'de verilen adsorpsiyon mekanizmasında görüldüğü üzere,

Tablo 1'deki değerler incelendiğinde, her bir yüzey aktif madde için korozyon testine tabi tutulan konsantrasyon arttıkça (10 → 100 ppm) inhibisyon etkinliklerinin arttığı görülmüştür. Bu, beklenen bir sonuçtur çünkü inhibitör konsantrasyonunun artmasıyla inhibisyon etkinliğinin arttığı bilinmektedir (Öztürk, 2017; Qiu ve ark., 2005; Aiad ve ark., 2016). Bir yüzey aktif madde, kritik misel konsantrasyonuna ulaşana kadar konsantrasyonu artırıldığında metal yüzeyine adsorbe olacak madde miktarı arttığından, metal yüzeyi korozif ortama karşı daha korunaklı olacaktır. Böylece metaldeki kütle kaybının azalmasına bağlı olarak inhibitörün inhibisyon etkinliği artacaktır. Tablodaki korozyon hızı değerlerine bakıldığında ise 0 ppm yani inhibitör içermeyen korozif ortamda korozyon olayının hızı yüksek iken, inhibitör içeren ve inhibitör konsantrasyonu arttıkça da azalma eğiliminde olan bir korozyon hızı vardır. Konsantrasyona bağlı olarak korozyon hızı ve inhibisyon etkinliğindeki bu değişimleri, Şekil 3'te grafiksel olarak görmek mümkündür.

korozyon olayının anot reaksiyonunda demirin +2 yükseltgenme basamağına yükseltgenmesi sonucu pozitif yüklenen metal yüzeyi, asitten gelen Cl⁻ iyonlarının etkisiyle dipol oluşturarak negatif hale dönüşmüştür (Öztürk, 2013; Öztürk, 2017; Yıldırım ve ark., 2013). Negatif yüklü dipole, inhibitörlerin pozitif yüklü azot atomları elektrostatik etkileşimle metal yüzeyine adsorbe olmaktadır. Ayrıca, bileşiklerin yapısında yer alan oksijen atomlarındaki ortaklanmamış elektron çiftleri ve aromatik benzen halkasındaki π elektronları, metal plakalardaki Fe elementinin boş d orbitalleriyle etkileşerek kimyasal yolla metal yüzeye tutunmaktadır (Şekil 4). Hem kimyasal, hem de fiziksel yolla adsorpsiyon sonucu asidik korozif ortamın metal yüzeyine olan olumsuz etkisine engel olunmaktadır. Tüm bu bilgilerin ışığında, yapısında ekstradan bir aromatik piridinyum halkası içeren 7 nolu yüzey aktif maddenin, bu piridinyum halkasındaki π elektronlarının ilave kimyasal adsorpsiyonu ile metal yüzeyine daha güçlü tutunduğu (Öztürk, 2018) ve bu sebeple 10 nolu inhibitöre göre daha yüksek inhibisyon etkinliği gösterdiği söylenebilir.



..... Fiziksel (elektrostatik) adsorpsiyon — Kimyasal adsorpsiyon



Şekil 4. Korozyona karşı adsorpsiyon mekanizması

3.3. Kritik misel konsantrasyonu (KMK) ile bu konsantrasyondaki yüzey gerilimi

Sentezlenen iki yüzey aktif maddeye ait kondüktometrik yöntemle belirlenen KMK sonuçları Tablo 2’de verilmiştir. Her

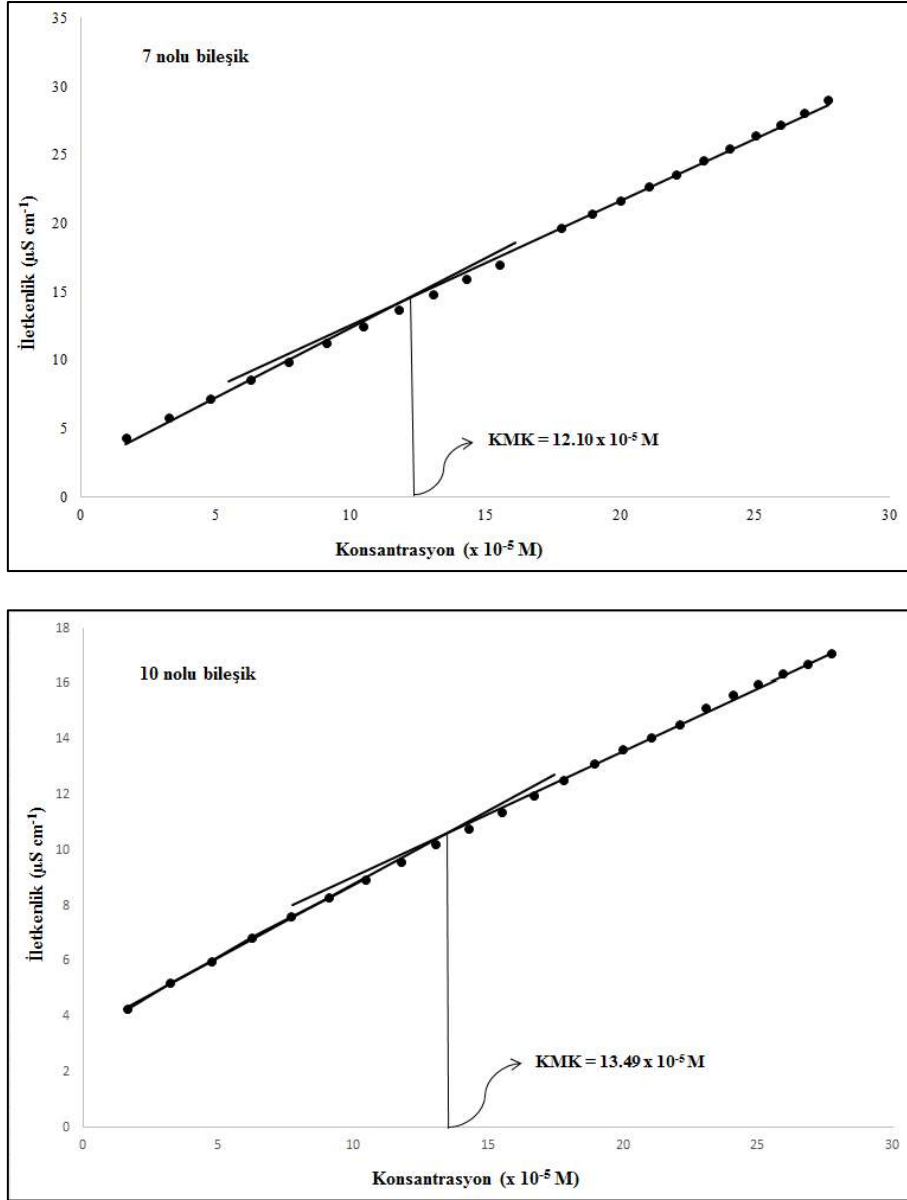
bir yüzey aktif maddenin farklı konsantrasyonları için ölçülen iletkenlikleri grafiğe geçirilmiştir. İlgili grafikler Şekil 5’te verilmiştir.

Tablo 2. Sentezlenen trikatyonik yüzey aktif maddelerin bazı fiziksel özellikleri

Yüzey aktif madde	KMK (x 10 ⁻⁵ M) ^a	γ_{KMK} (dyn cm ⁻¹) ^{a,b}	π_{KMK} (dyn cm ⁻¹)	ΔG_{misel} (kj mol ⁻¹)
7	12.10	30.21	42.59	- 21.97
10	13.49	38.12	34.68	- 21.63

^a 20 °C sıcaklıkta hesaplanmıştır.

^b Yüzey aktif maddenin kritik misel konsantrasyonunda hesaplanmıştır.



Şekil 5. Konsantrasyona karşı ölçülen iletkenlik değeri grafikleri

Grafiklerde görüldüğü gibi, iletkenlikteki artışla birlikte konsantrasyonlar da doğrusal bir artış göstermiştir. Konsantrasyon – iletkenlik

doğrusal eğilim çizgisinde, eğimin değiştiği konsantrasyon, sentezlenen yüzey aktif maddeler için kritik misel konsantrasyonu olarak belirlenmiştir. İletkenlik ölçümleri 20 °C sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Tespit edilen kritik misel konsantrasyonlar birbirine yakın çıkmakla beraber piridinyum katyonunu içeren 7 nolu bileşiğin KMK değeri ($12.10 \times 10^{-5} \text{ M}$), trietilaminyum katyonunu ihtiva eden 10 nolu bileşiğe nazaran ($13.49 \times 10^{-5} \text{ M}$) daha düşük bulunmuştur. Elde edilen bu sonuç, Tablo 1’de verilen inhibisyon etkinliği sonuçları ile mantıksal olarak uyumludur. İnhibisyon etkinlikleri konsantrasyondaki artışla artış göstermekle beraber, 50 ile 100 ppm arasında 7 nolu bileşikte inhibisyon etkinliği sonuçları birbirine çok yakındır (sırasıyla 96.38 ve 96.57). Halbuki, 10 nolu bileşikte aynı konsantrasyonlar arasındaki inhibisyon etkinlikleri birbirinden oldukça farklı bulunmuştur (sırasıyla 84.81 ve 89.07). Konsantrasyon artışıyla etkinliklerinin birbirine yakın çıkması KMK değerine ulaşıldığına işarettir. İnhibisyon etkinliği değerleri birbirine yakın çıkmaması da KMK değerine henüz ulaşılmadığına dair delil teşkil etmektedir (Yıldırım ve ark., 2013). Bununla birlikte, yapısında

e-ISSN: 2148-2683

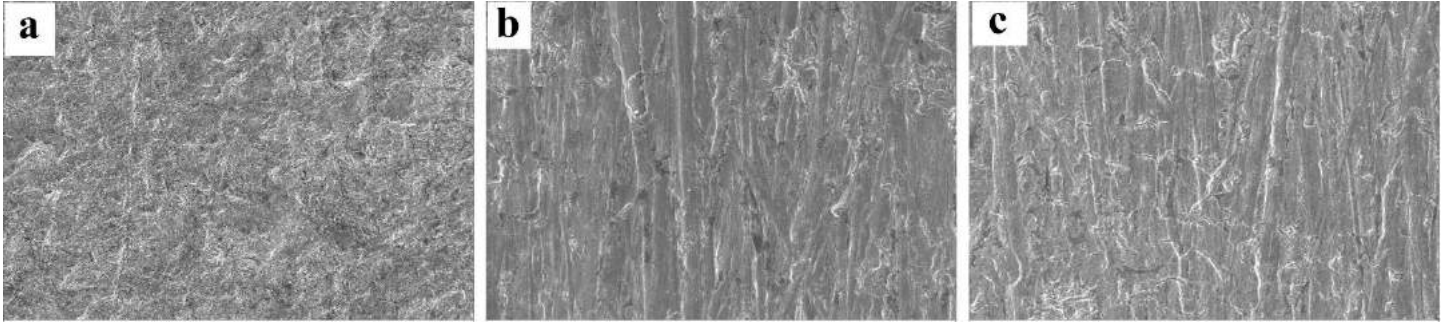
aromatik piridinyum halkasını ihtiva eden yüzey aktif maddesinin kritik misel konsantrasyonunun az da olsa daha düşük bulunması, hidrofobik etki ile açıklamak mümkündür. Fazladan aromatik halka içeren bir madde içermeyene göre daha hidrofobiktir (Taleb ve ark. 2017). Bir yüzey aktif maddede ise hidrofobik karakter arttığında, kritik misel konsantrasyonu azalmaktadır.

Kritik misel konsantrasyonunun, misel oluşumu Gibbs serbest enerjisi ΔG_{misel} değeri ile bağımlılığı mevcuttur. Yüzey aktif maddenin kritik misel konsantrasyonu azaldıkça, maddenin misel oluşturma eğilimi artar. Tablo 2’deki ΔG_{misel} değerleri bu sonucu doğrulamaktadır. Hidrofobik karakteri daha fazla, dolayısıyla KMK değeri daha az olan 7 nolu bileşiğin serbest enerji değeri negatif yönde daha fazla bulunmuştur (Aiad ve ark., 2014). ΔG_{misel} değerleri birbirine yakın çıkmış olsa da piridinyum katyonu içeren tri-katyonik yüzey aktif maddenin diğer maddeye nazaran misel oluşturma eğilimi daha fazladır.

Sentezlenen iki adet tri-katyonik yüzey aktif maddenin, kritik misel konsantrasyonlarında, kapiler yükselme yöntemi ile ölçülen, yüzey gerilimleri (γ_{KMK}) Tablo 2’de verilmiştir. Yüzey gerilimleri, kritik misel konsantrasyonundaki sulu tri-katyonik yüzey aktif madde çözeltilerinin yüzey aktivitesini değerlendirmek amacıyla saptanmıştır. Tablo 2’de görüldüğü üzere, 7 nolu yüzey aktif maddenin KMK’daki yüzey gerilimi daha düşük belirlenmiştir. Bu sonuç, yapısında katyonik piridinyum halkası içeren bileşiğin (7), diğerinden daha iyi yüzey etkinliği özelliği sergilediğini göstermektedir. Bu durum korozyon inhibisyon sonuçlarına da yansımıştır.

Yüzey gerilimi azalmasıdaki etkinlik (π_{cmc}), KMK’da elde edilen yüzey basıncındaki azalma miktarıdır (Öztürk ve ark., 2019). Etkinlik (π_{cmc}), yüzey gerilimindeki maksimum azalmanın bir göstergesidir ve yüzey aktif maddenin, suyun yüzey gerilimini düşürmedeki etkinliğini değerlendirmek için kullanılabilir (Rosen, 1989). Bu değer, aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir:

$$\pi_{KMK} = \gamma_0 - \gamma_{KMK} \quad (3)$$



Şekil 6. Metal yüzeylerine ait SEM görüntüleri

Taramalı elektron mikroskobu (SEM), metal yüzeyi üzerindeki morfolojik değişimleri görmemizi ve yorumlamamızı sağlamaktadır (Öztürk 2018). Nitekim Şekil 6–a’deki görüntüde, inhibitörsüz asit çözeltisine daldırılan metal yüzeyi görülmektedir. İnhibitörsüz asit ortamına maruz kalan metal yüzeyinin tümünde aşınma gözlenirken, yüzeyin girintili çıkıntılı ve pürüzlü bir hal aldığı görülmektedir. Bu da, metal yüzeyinde korozyon olayının gerçekleştiğini ve yüzeyde korozyon ürünlerinin oluştuğunu göstermektedir. Şekil 6–b ve Şekil 6–c ’de verilmiş olan yüzey görüntüleri ise sırasıyla 7 ve 10 nolu tri-katyonik yüzey aktif maddeleri içeren asit ortamında 24 saat bekletilmiş metal yüzeylerine aittir. İnhibitörlü asit ortamına maruz kalan metal yüzeylerinde herhangi bir aşınma ve pürüzlülüğün olmadığı ve daha düz bir görünüm aldığı görülmektedir. Metal yüzeylerinde görülen çizik izleri test öncesi yapılan zımparalama işleminden kaynaklanmaktadır. Tri-katyonik yüzey aktif maddeleri için elde edilen bu metal yüzeyi SEM görüntüleri, yüzey aktif maddelerin yüzeye adsorbe olarak metali korozyona karşı koruduğunu desteklemiştir.

4. Sonuç

- Üç adet pozitif azot atomu içeren vanilin türevi olan 2 adet tri-katyonik yüzey aktif madde sentezlenmiş ve yapıları spektroskopik yöntemlerle (ATR ve NMR) aydınlatılmıştır.

Burada, γ_0 saf suyun yüzey gerilimidir (20 °C’de 72.8 dyn cm⁻¹) ve γ_{KMK} kritik misel konsantrasyonundaki sulu çözeltinin yüzey gerilimidir. Korozyon inhibitörü amacıyla sentezlenen bileşikler için (7 ve 10) bu değer, sırasıyla 42.59 ve 34.68 dyn cm⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar, sentezlenen tri-katyonik yüzey aktif maddelerin sulu sistemdeki yüzey gerilimini azaltma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, 7 nolu bileşiğin aktivitesinin daha fazla olduğunu söylemek mümkündür. Çünkü γ_{KMK} değeri azaldıkça π_{cmc} değeri artmaktadır. π_{cmc} değeri arttıkça da yüzey aktif maddenin aktivitesi de artmaktadır.

3.4. SEM

Organik bileşiklerin asidik ortamdaki metal yüzeyinin korozyonuna karşı koymasının bir ölçüsü olan inhibisyon etkinliği sonuçlarının desteklenmesi yönünde taramalı elektron mikroskobu analizi önem arz etmektedir. Yirmi dört saat süreyle, inhibitörlü ve inhibitörsüz asit çözeltisine daldırılan metal kupon yüzeylerinin, taramalı elektron mikroskobu cihazı ile çekilen 1000 kat büyütülmüş yüzey görüntüleri Şekil 6’da görülmektedir.

- Sentezlenen yüzey aktif maddelerin asidik ortamda gerçekleşen metal korozyonunu engelledikleri, korozyon hızının düşmesinden ve iyi inhibisyon etkinliği sergilemelerinden, anlaşılmıştır.
- Her iki inhibitörün konsantrasyonu arttıkça beklenildiği üzere korozyon hızlarının azaldığı ve inhibisyon etkinliklerinin arttığı görülmüştür.
- Metal yüzeyine adsorbe olarak etkinlik gösteren iki yüzey aktif madde arasında, yapısal olarak aromatik halkalı piridinyum katyonunu içeren 7 nolu bileşiğin, içerdiği bu piridinyum halkasındaki π elektronlarının metal yüzeyine ilave kimyasal adsorpsiyonla daha güçlü tutulduğundan, 10 nolu bileşiğe nazaran korozyon olayına karşı daha iyi inhibisyon sergilediği görülmüştür.
- Her iki yüzey aktif madde için kritik misel konsantrasyonu (KMK) ve bu konsantrasyondaki yüzey gerilimi ile misel oluşum serbest enerjisi belirlenmiştir. Elde edilen bu fizikokimyasal parametrelere göre, piridinyum katyonunu içeren tri-katyonik yüzey aktif maddenin yüzey aktivitesinin daha iyi olduğu yorumu yapılmıştır.
- İnhibisyon etkinliği sonuçlarını desteklemek amacıyla, çalışılan konsantrasyonlar içerisinde en yüksek etkinlik gösterdikleri 100 ppm inhibitör içeren korozif çözeltiye 24 saat süre ile daldırılan metal yüzeylerinde SEM cihazı ile yüzey görüntüleri alınmıştır. İnhibitör içermeyen korozif ortama daldırılan metal yüzeyi görüntüsü ile

karşılaştırıldığında, her iki yüzey aktif maddenin asidik ortamdaki korozyona karşı etkin oldukları görülmüştür.

Kaynakça

- Abd El-Lateef H M, Abo-Riya M A, Tantawy A H, 2016. Empirical and quantum chemical studies on the corrosion inhibition performance of some novel synthesized cationic gemini surfactantson carbon steel pipelines in acid pickling processes. *Corrosion Science*, 108:94-110.
- Abdelrazik H, Mona M, Rehim H A, 2015. Surface active hyperbranched polyamideester as a corrosion inhibitor for carbon steel in both neutral and acidic media. *Anti-Corrosion Methods and Materials*, 62:95-102.
- Aiad I, El-Sukkary M M, Soliman E A, El-Awady M Y, Shaban S M, 2014. Inhibition of mild steel corrosion in acidic medium by some cationic surfactants. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20:3524-3535.
- Aiad I, Riya M A, Tawfik S M, Abousehly M A, 2016. Protection of carbon steel against corrosion in hydrochloric acid solution by some synthesized cationic surfactants. *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*, 52:339-347.
- Asefi D, Arami M, Mahmoodi N M, 2010. Electrochemical effect of cationic gemini surfactant and halide salts on corrosion inhibition of low carbon steel in acid medium. *Corrosion Science*, 52:794-800.
- Bensajjay F, Alehyen S, El Achouri M, Hajjaji N, Bellaouchou A, Perez L, Infante M R, 2011. Inhibition of the corrosion of iron in acidic solution by the oligomeric surfactant N,N,N',N'',N'''-pentamethyl diethyleneamine-N,N''-di-[tetradecylammonium bromide]. *Anti-Corrosion Methods and Materials*, 58(5):258-266.
- Bereket G, Gerengi H, 2006. Harmonic Analysis For Corrosion Monitoring. X. International Corrosion Symposium, November 1-4 Adana, 403-405.
- Bereket G, Pinarbasi A, 2008. Inhibition effect of some heterocyclic compounds on pure aluminium in 0.1 M hydrochloric acid solution. *Corrosion*, 16:17-22.
- DIN Standard 2007. Cold rolled low carbon steel flat products for cold forming—Technical delivery conditions; German version EN 10130:2006. Berlin, Germany: DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 14s.
- EldougDoug W I, Ali A I, Elaraby A, Mabrouk E M, 2018. Corrosion inhibition of Tri-cationic surfactant on carbon steel in hydrochloric acid solution. *Journal of Basic and Environmental Sciences*, 5:289-300.
- Feng L, Yin C, Zhang H, Li Y, Song X, Chen Q, Liu H, 2018. Cationic Gemini Surfactants with a Bipyridyl Spacer as Corrosion Inhibitors for Carbon Steel. *ACS Omega*, 3:18990-18999.
- Finşgar M, Jackson J, 2014. Application of corrosion inhibitors for steels in acidic media for the oil and gas industry: A review. *Corrosion Science*, 86:17-41.
- Gerengi H, Solomon M M, Öztürk S, Yıldırım A, Gece G, Kaya E, 2018. Evaluation of the corrosion inhibiting efficacy of a newly synthesized nitrene against St37 steel corrosion in acidic medium: Experimental and theoretical approaches. *Materials Science & Engineering C*, 93:539-553.
- Hegazy M A, El-Etre A Y, El-Shafaie M, Berry K M, 2016-a. Novel cationic surfactants for corrosion inhibition of carbon steel pipelines in oil and gas wells applications. *Journal of Molecular Liquids*, 214:347-356.
- Hegazy M A, Azzam E M S, Kandil N G, Badawi A M, Sami R M, 2016-b. Corrosion Inhibition of Carbon Steel Pipelines by Some New Amphoteric and Di-cationic Surfactants in Acidic Solution by Chemical and Electrochemical Methods. *Journal of Surfactants and Detergents*, 19:861-871.
- Lashgari M, Arshadi M R, Biglar M, 2010. Comparative studies of some heterocyclic compounds as corrosion inhibitors of copper in phosphoric acid media. *Chemical Engineering Communications*, 197:1303-1314.
- Martino W, Fernandez de la Mora J, Yoshida Y, Saito G, Wilkes J, 2006. Surface tension measurements of highly conducting ionic liquids. *Green Chemistry*, 8:390-397.
- Öztürk S, 2013. Potansiyel Korozyon İnhibitör Özelliği Taşıyan Bazı Amid Bileşiklerinin Tasarımı ve Sentezi, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 288.
- Öztürk S, 2017. Synthesis and Corrosion Inhibition Effects of Quinazolin-(3H)-4-One Derivatives Containing Long-Chain Pyridinium Salts on Carbon Steel in 1.5 M HCl. *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*, 53(5): 920-927.
- Öztürk S, 2018. Düşük Karbon Çeliğinin Asidik Ortamdaki Korozyonuna Karşı İnhibitör Özelliği Gösteren 4-Okso-Kinazolin Türevi Katyonik Yüzey Aktif Maddelerin Sentezi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22 (3):986-1000.
- Öztürk S, 2019. Synthesis of Quinazoline Derivative Di-Cationic Surfactants and Their Corrosion Protection of Mild Steel in Acidic Media. *Russian Journal of Organic Chemistry*, 55(2):245-249.
- Öztürk S, Yıldırım A, Gece G, Türkdemir H, 2019. Flexible Semicrown Ether-Linked Symmetric Cationic Gemini Surfactants: Synthesis and Evaluation as Catalysts for Acceleration of Diastereoselective [3 + 2] Cycloaddition Reaction in Reversed Phase Micellar Media. *Journal of Surfactants and Detergents*, 22:197 – 208.
- Qiu, L G, Xie A J, Shen Y H, 2005. A novel triazole-based cationic gemini surfactant: synthesis and effect on corrosion inhibition of carbon steel in hydrochloric acid. *Materials Chemistry and Physics*, 91:269-273.
- Rosen M J, 1989. Surfactants and interfacial phenomena (2nd ed., p. 84). New York, NY: John Wiley & Sons.
- Shalabi K, Helmy A M, El-Askalany A H, Shahba M M, 2019. New pyridiniumbromidemono-cationic surfactant as corrosion inhibitor for carbon steel during chemical cleaning: Experimental and theoretical studies. *Journal of Molecular Liquids*, 293:111480.
- Sugden S, 1921. The determination of surface tension from the rise in capillary tubes. *Journal of the Chemical Society, Transactions*, 119:1483-1492.
- Taleb K, Benkada M M, Benhamed N, Besbes S S, Grohens Y, Derdour A, 2017. Benzene ring containing cationic gemini surfactants: Synthesis, surface properties and antibacterial activity. *Journal of Molecular Liquids*, 241:81-90.
- Üneri S, 1998. Korozyonda Temel İlkeler, V. Korozyon Sempozyumu, Dokuz Eylül Üniversitesi, 1-28.
- Yıldırım A, Öztürk S, Çetin M, 2013. Novel Amide-Based Cationic Surfactants as Efficient Corrosion Inhibitors for Carbon Steel in HCl and H₂SO₄ media, *Journal of Surfactants and Detergents*, 16:13-23.
- Zhu Y, Free M L, Woollam R, Durnie W, 2017. A review of surfactants as corrosion inhibitors and associated modeling, *Progress in Materials Science*, 90:159-223.



Big Data Companies and Open Source Movement

Necmi Gürsakal^{1*}, Sevda Gürsakal², Sadullah Çelik³

¹ Fenerbahçe University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-7909-3734), negursakal@gmail.com

² Bursa Uludağ University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Department of Econometrics, Bursa, Turkey, (ORCID: 0000-0002-1324-3648), sdalgic@uludag.edu.tr

^{3*} Aydın Adnan Menderes University, Nazilli Faculty of Economics and Administrative Sciences, Department of Econometrics, Aydın, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5468-475X), ssadullah.celik@gmail.com

(First received 5 November 2020 and in final form 31 January 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.822219)

ATIF/REFERENCE: Gürsakal, N., Gürsakal, S. & Çelik, S. (2021). Big Data Companies and Open Source Movement. *European Journal of Science and Technology*, (21), 680-689.

Abstract

The purpose of this study is to discuss the misuse of open source software by big data companies for other reasons. Developments in information and communication technologies in recent years have increased the use of Big Data and open source software. Open source software such as R, Python, Hadoop, Spark, MapReduce are developed by many people and these are used in many technologies such as Big Data, Data Science, Artificial Intelligence, Internet of Things and Blockchain. Open source software is also of great importance in terms of approaches that add value to Big Data such as machine learning and deep learning. The source code of these software is open to everyone and everyone can contribute and use them for free for their desired purpose. Today, many big data companies such as Apple, Amazon, Google, Facebook, Microsoft, Samsung, Yahoo and Qualcomm are working hard to accelerate machine learning and develop hardware suitable for software. Also, big data companies have started to share their open source software information by establishing the TODO Group. Unfortunately, the open source movement aimed at sharing, devotion; has begun to turn into a romantic effort that serves big data companies in the face of organized movements. The open source software movement whose aim is to provide free, reliable and quality software to everyone; Used by big data companies for profit (other than the purposes of the movement). On the other hand, the open source software movement is of great importance in terms of the rapid spread of information, the use and sharing of the produced codes by everyone. Big data companies first use the movement for software development and then make this software for a fee. Microsoft has done this in the NodeXL program, which is used for visualizing networks.

Keywords: Big Data, Big Data Companies, Open Source Software.

Büyük Veri Şirketleri ve Açık Kaynak Hareketi

Öz

Bu çalışmanın amacı, açık kaynak kodlu yazılımların büyük veri şirketleri tarafından amaçları dışında kötüye kullanılabileceğini tartışmaktır. Son yıllarda bilişim ve iletişim teknolojilerinde yaşanan gelişmeler Büyük Veri ve açık kaynak kodlu yazılımların kullanımını artırmıştır. R, Python, Hadoop, Spark, MapReduce gibi açık kaynak kodlu yazılımlar çok sayıda kişi tarafından geliştirilmekte ve bunlar Büyük Veri, Veri Bilimi, Yapay Zeka, Nesnelerin İnterneti ve Blok Zincir gibi birçok teknolojide kullanılmaktadır. Makine öğrenmesi ve derin öğrenme gibi Büyük Veri'ye değer katan yaklaşımlar açısından da, açık kaynak kodlu yazılımların önemi büyüktür. Bu yazılımların kaynak kodları herkese açıktır ve bunlara herkes katkıda bulunup istediği amaç doğrultusunda ücretsiz kullanılabilir. Bugün Apple, Amazon, Google, Facebook, Microsoft, Samsung, Yahoo ve Qualcomm gibi birçok büyük veri şirketi, makine öğrenmesini hızlandırmak ve yazılıma uygun donanım geliştirmek için yoğun çalışmalar yapmaktadır. Ayrıca büyük veri şirketleri, TODO Group'u kurarak açık kaynak kodlu yazılım bilgilerini birbirleriyle paylaşmaya başlamışlardır. Ne yazık

* Corresponding Author: ssadullah.celik@gmail.com

ki, paylaşımı, özveriyi amaçlayan açık kaynak hareketi; büyük veri şirketlerinin organize hareketleri karşısında onlara hizmet eden romantik bir çabaya dönüşmeye başlamıştır. Amacı ücretsiz, güvenilir ve kaliteli yazılımı herkese sunmak olan açık kaynak kodlu yazılım hareketi; büyük veri şirketleri tarafından (hareketin amaçları dışında) kâr amacıyla kullanılmaktadır. Diğer taraftan, açık kaynak kodlu yazılım hareketi bilginin hızla yayılımı, üretilen kodların herkes tarafından kullanımı ve paylaşılması açısından da büyük öneme sahiptir. Büyük veri şirketleri hareketi önce yazılım geliştirme amacıyla kullanmakta, daha sonra ise bu yazılımı ücretli hale getirmektedirler. Microsoft, ağların görselleştirilmesinde kullanılan NodeXL programında bunu yapmıştır.

Anahtar Kelimeler: Büyük Veri, Büyük Veri Şirketleri, Açık Kaynak Kodlu Yazılım.

1. Introduction

“Copyleft-All Rights Reversed”[†]
Richard Stallman

In the early 2000s, three phenomena drew attention: the rapid spread of open source software, significant capital investments in open source projects, and a new organizational structure in which these projects were managed (Tirole & Lerner, 2000). In the process of processing raw data, when the amount of this data constantly increased and reached a size that could not be processed or stored on commercial computers, the digital world began to seek solutions in terms of software and hardware. The processing of data in distributed systems with open source software such as Hadoop[‡], cloud computing technology and other technological developments brought out the Big Data phenomenon:

The tools available for the problems of Big Data such as volume, velocity and variety have been developed in recent years. Generally, these technologies are not expensive enough to hamper

startups, and most software is open source software. Hadoop, the most commonly used framework, combines commercial machines with open source software and provides tools for data analysis by distributing incoming data streams to cheap disks (McAfee et al., 2012).

As we approach the end of the second decade of the 2000s, there are many opposing views on Big Data in societies, from the fact that this development will be a panacea to all kinds of problems, to the issue that the big brother will constantly watch and observe us. The Big Data phenomenon is largely about analyzing unstructured data. This phenomenon, which we have mentioned, has brought diversity in data types with it, and as seen in Figure 1, the uncertainty especially in the data types of the sensors has increased.

Also, the fact that data becomes dynamic from a static state and begins to be streaming data is another important development at this point. When we remember the saying “Needs are the mother of discovery”, we think that all these developments may have brought to the agenda “do it yourself” type open source solutions. In short, the incredible change in the amount and type of data may have supported different solutions in the development of software for processing this data.

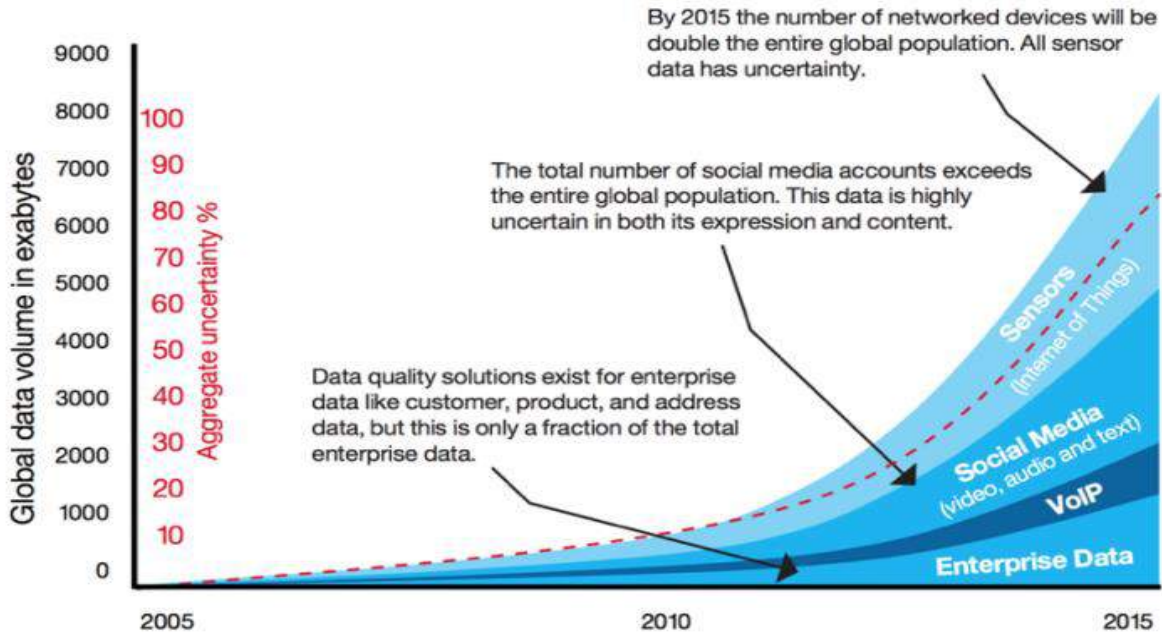


Figure 1. Exponential increase in global open source data over the last 10 years (Dash line describes uncertainty in the type of data) (IBM, 2013).

If we want to understand what is happening in the digital world and to have a solid place for ourselves in the digital world as a country, we need to examine the developments in today's

developed countries and especially in the USA. The first point to be understood here is that the popularity of Big Data phenomenon is gradually giving way to machine learning[§]. Today, the Big Data

[†] The pseudonym of the general public license (General Public License) is transformed into a word game "Copyright", meaning copyright, to "Copyleft", saying "all rights are not reserved on the contrary."

[‡] For open source projects related to Hadoop only, see. <http://www.learnquest.com/e-learning-samps/LQTF/April/Hadoop/U1P2.pdf>

[§] When we look at the searches for "Big Data" and "Machine Learning" with Google Trends, it is seen that MachineLearning caught "Big Data" in early May 2017 worldwide; In the USA, we see that "Machine Learning" surpasses "Big Data" in October 2016 (Piatetsky, 2017).

boom has been left behind and almost all Silicon Valley is focused on machine learning and driverless car production. Today companies like Apple, Qualcomm, Samsung and Google; They are focused on developing hardware suitable for software to speed up machine learning.

No matter how important the technical details of Big Data are, analytical approaches such as machine learning and deep learning are important in terms of adding value to Big Data. Open source** software is of great importance in terms of both Big Data and approaches that add value to Big Data such as machine learning and deep learning.

The fact that people started to share their data on social media without any charge has both improved the Big Data phenomenon and increased the demand for new software for such data. Data is increasing enormously and new software is needed for storing, processing and analyzing this data as the costs of storing data are decreasing rapidly. This demand was met by those who made open source software, who was mostly voluntary. Especially in the 2000s, open source software started to take an important place in the eyes of big data companies such as Facebook, Amazon, Google, Apple and Microsoft.

There are three types of licenses in software technologies:

- *Licensed software:* In this case, the software product is produced and controlled by a software company. The source code of the program is not available for the persons or companies that the company producing the software licensed. The issue of annual maintenance and upgrade costs of the program is determined by an agreement between the seller and the purchaser. Databases of Oracle, IBM or Teradata or Windows programs sold by Microsoft can be considered as licensed software.
- *Open source software:* The source code of the software is freely available. However, in this case, companies can turn the software into money by selling value-adding components such as management tools or support services. Examples of this are Cloudera and other companies marketing for Hadoop and MongoDB company for MongoDB. Open source software: "It guarantees full access to the source code, the right to run the program for any purpose without restriction, the right to change the source code, the right to distribute original and modified software, the right to know open source rights" (Carillo and Okoli, 2008). Besides, another point to be added here is that licenses are free, but it should be aware that operating a program is a costly process that requires repair, maintenance and expertise when necessary.
- *Cloud services:* Cloud services are data and software services offered by companies from data centers to customers on the Internet. Payments can be based on subscription and term of use. Examples of this are

Google App Engine and Amazon Elastic MapReduce, which provide cloud computing services.

Today, digital infrastructure is largely provided by open source software. Especially in recent years, big data companies such as Google, Amazon, Facebook and Microsoft, which have determined the future of digital technology, attach importance to open source software and sometimes make their software open source. However, just as physical infrastructure has maintenance problems, digital infrastructure also has maintenance problems.

2. Big Data

"Big Data" is a term often used by software and hardware companies to increase their sales. This term has impressive business potential and is an extremely important technological trend. Although Big Data has emerged with the introduction of the internet into our lives, it has just begun to be noticed by people. Every movement or click we make on the internet during the day causes data formation. Considering that millions of people do the same movement during the day, a huge data stack is produced every second. On the other hand, this is not only limited to social media, but terabytes of data are also produced every second in many areas, and this enormous data is recorded in the databases of organizations (Çelik, 2018: 48-49). When organizations bring together this data available to them, they know more about their customers than ever before. For example, public health officials need more detailed information to better make policy decisions regarding the management of increasingly scarce resources. The ability to gain insight from Big Data will undoubtedly be of immense socio-economic significance (Cavoukian & Jonas, 2012).

"Big Data refers to datasets whose size is beyond the ability of typical database software tools to capture, store, manage, and analyze" (Manyika et al., 2011). To better understand Big Data, five basic properties that define it, namely 5V (Volume, Velocity, Variety, Value, and Veracity) should be well known (Figure 2).

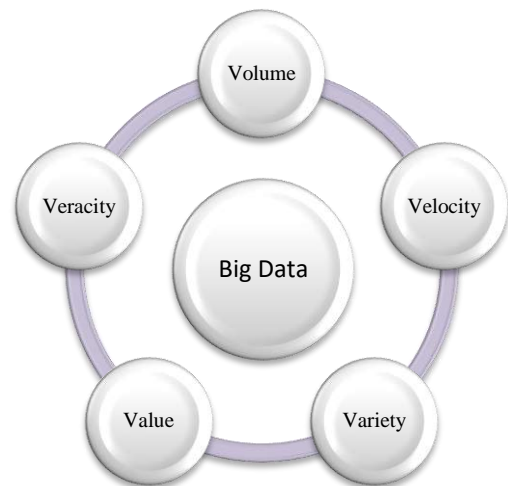


Figure 2: Big Data Characteristics

Volume: refers to the amount of data and creates difficulties in processing large amounts of data with traditional computation

or techniques. The volume of the data is a problem for Big Data (Zuech et al., 2015).

** Source code is a set of computer-implemented instructions for a program to accomplish its purpose. The source code is then converted into machine code by a tool called a compiler.

Velocity: refers to the speed at which data is processed, and it poses a major problem for Big Data when the speed of data moves too fast to be processed by conventional computing or techniques (Zuech et al., 2015).

Variety: refers to the complexity of the data (Zuech et al., 2015). Big Data consists of high dimensional, many sources or many different data structures (structured, semi-structured or unstructured). Since these different data structures contain complex problems, some problems may arise during the analysis process.

Value: Indicates whether a value-added product that can be used by a business has been obtained as a result of Big Data analysis. If a correlation, estimation, statistical result or a value added product is not obtained as a result of the analysis, this data is no different from information garbage.

Veracity: It refers to the reliability or usefulness of the results obtained from data analysis. In short, it expresses whether the data is received from an accurate and reliable source. As the number of data sources and types increases, it becomes harder to maintain trust in Big Data Analytics (Najafabadi et al., 2015).

Big data is not about the data itself, but about new use cases and new insights. Big data analytics examines huge, detailed datasets to reveal hidden patterns, unknown correlations, market trends, customer preferences, and new business insights. Because it can only store bulk data, people can now ask questions previously impossible with a traditional data warehouse. Imagine for a moment looking at the picture of the Mona Lisa and seeing only large pixels. This is the view you get from customers in a data warehouse. To get a detailed view of your customers, you need to store fine, detailed, nanoscale data on these customers and use big data analytics such as data mining or machine learning to see the detailed portrait (Talend, 2020).

The size of big data and the processing power required to analyze it, the open source community and computers have led to major advances in many analytical fields such as image recognition, speech recognition, medical diagnosis and gaming. While it makes statistical data easier to understand and interpret, machine learning includes algorithmic methods that enable machines to solve problems without specific computer programming. Therefore, machine learning pioneers predictive modeling tasks (Li et al., 2018; Alanazi et al., 2017). That is, machine learning is a discipline in computer science where machines (i.e. computers) are programmed to process input data, learn or train the basic model, and finally elaborate insights into new data. Thus, machine learning is essentially a certain class of artificial intelligence that includes learning mechanisms (such as a deep neural network) that can be properly trained in finding complex patterns within Big Data and transforming inputs with large data sets. Machine learning can analyze large-scale data from different environments and combine them to make some predictions (Rajkomar et al., 2019).

Deep learning and Big Data are the two newest trends in the rapidly growing digital world. Deep learning machine learning and pattern recognition are also actively used. Deep learning has achieved great success in many application areas such as speech recognition, image recognition and natural language processing. Today, Big Data contains great opportunities and transformative potential for various industries. On the other hand, there are unprecedented challenges to using data and information. As data grows, deep learning begins to play an important role in delivering

analytical solutions based on Big Data prediction (Chen and Lin). Deep learning algorithms are used to exploit the predictive power of Big Data in fields such as search engines, medicine, and astronomy. Deep learning and Big Data are jointly recognized as "two major trends that are key drivers for the future growth of the American economy." (Crego et al., 2013). Unlike most traditional learning techniques, deep learning is controlled in deep architectures to automatically learn hierarchical representations. or unsupervised learning methods (Yu & Deng, 2010). Deep architectures can capture statistical input patterns that are often initiated more complex, hierarchically, to achieve adaptability to new areas compared to traditional learning methods (Arel et al., 2010).

How have the initially negative views of big data companies towards the open source movement, which gained a different momentum with the Big Data phenomenon, changed? Our study, which will deal with these and similar questions, aims to examine how the big data companies we mentioned look at the open source movement and how these companies interact with the open source movement. Following an introduction to the article, the history of the open source movement will be briefly summarized, and we will try to take a look at the interaction between the big data companies and the open source movement these days. The study is complemented by an evaluation.

3. A Brief History of the Open Source Movement

Richard Stallman, born in 1953, began hacking regularly at the university in 1971 (Williams, 2002: 49). Stallman said, "In my beliefs, freedom is more important than technological progress. I always prefer a less advanced free program to a more advanced but nonfree program. I wouldn't give up my freedom for something like this. My rule is that if I cannot share, I will take it" (Williams, 2002: 116).

While working at the MIT Artificial Intelligence Laboratory in 1980, Richard Stallman was having trouble with printers that malfunctioned and left the job without completing the desired output. To solve this problem, Stallman wrote a few lines of code, asking the printer to notify those who had the job that the job was finished or that the printer was unable to complete the output (malfunction). However, such a change in the source code of the Xerox laser-printer was not possible for free or for money.

It is possible to take the issue back to the past, but the open source movement first started in 1984, when Richard Stallman, an MIT researcher and formerly a hacker, started a movement called the "free software movement" and started the free operating system GNU and profit It started with the founding of the non-purpose Free Software Foundation. Richard Stallman also introduced a type of license called "General Public License" (GPL) provided that copying, modifying, upgrading, modifying the source code is under the same license as the original code (Friedman, 2007: 106).

Later, Linus Torvalds, a 21 year old student at the University of Helsinki in 1991, developed an operating system called Linux as open source software to compete with Microsoft's operating system, Windows. The development of the GNU/Linux operating system under the same license as other people's improvements also contributed to this movement. Developed by 12 thousand people, Linux today has 18 million lines of source code, and

millions of people worldwide use Linux in their Android smartphones, scientific studies and data centers (Athens, 2016).

Linus Torvalds wrote, "This business has been developing since April and is nearing completion. I would like to know what features people want in the software. I like the suggestions, but I cannot promise to implement them :-)" (Athens, 2016). Torvalds wasn't a social person, "I didn't start Linux as a collaboration project, I started it for myself. I wanted results, but I also enjoyed programming. I had no intention of using the open source code method while making the project public. I just wanted to comment on my work "(Asay, 2016). He didn't really like other people, but he liked other people who were interested in his project. According to Torvalds, open source was a great way to work together and produce code (Asay, 2016). According to him, all good programmers did programming because it was fun, not to earn money or to be overly praised by the public (BrainyQuote, 2020).

In fact, the open source movement meant much more than what words mean. Linux has proven to the world that working together, volunteering, and a management style based on merit can produce powerful products (Kepes, 2013). So how has the open data movement developed? It is a commonly held view that hacking is at the root of both the open source movement and the open data movement. According to the hacking culture: Computers can create a better world, everyone should be able to freely access computer technology and information, every hacker should be evaluated according to the code they write, and merit should be at the forefront. However, with all of this, it is debatable whether anyone who develops code is doing it for fun, like Linus Torvalds.

Although a software developer like Torvalds was later rewarded with stocks by companies, employees in these projects work for free and are not rewarded with stocks at the end of the job. The question of why software developers working in open source projects do this job for free has been asked in the literature and the answers to this question have been sought. Although there are various answers such as interest, entertainment, and learning curiosity, the most logical of these are the expectation of career advancement in the future and ego pleasure. Some authors call this "signaling incentive" (Tirole and Lerner, 2000: 15).

Meeting at the Free Software Summit organized by Tim O'Reilly, the founder of O'Reilly Media, which has made significant contributions to the popularization of terms such as Web 2.0 and open source, open source advocates established an organization called Open Source Initiative (OSI) in 1998. The Free Software Foundation and Open Planet Initiative (OPI), founded by Richard Stallman, are today seen as the main schools of the free and open source software movement.

After the early 2000s, the interactions between the open source software movement, Big Data and open data have been increasing. At the leading edge of this tsunami, the combination of innovative business and technology trends promises us a smarter future based on open source software and cross-organizational collaboration duo called Open Data Science. Open Data Science is such a move that it uses open source tools to make data, analytics, and computing a connected ecosystem that works together (Chambers et al.2017).

There is an important point here. Being an open data pro and a Big Data pro is about transformations of knowledge and power. However, these are opposed to each other. On the one hand, the

actions of the open data proponents focus on the use and distribution of data, on the other hand, they relate to Big Data, which is the quantification of social life. Big Data, on the other hand, is an approach that uses all kinds of digital chips people leave behind without realizing it. In short, it is as if someone wants to freely use and distribute data, while carrying wood to the quarry of Big Data (Baack, 2015).

4. Open Source Code Applications

Open source software can be big, important, and transformational. But since we live in a for-profit capitalist society, this does not kill traditional software vendors, licensed software is still winning (Kepes, 2013). The interest in open source software is explained by the "network effect". The more consumers use a particular product, the more valuable it becomes to them. The utility function increases with the increase in the number of people using this product. The emerging externalities are due to the network effect, which is the most important factor for end users of particular software, and this factor affects people's use of this software (Celińska, 2016).

OSS projects are carried out by hundreds or even thousands of volunteers. Jobs are not given, people take the jobs they want, and there is no detailed project plan. The following quote can give an idea about how open source projects are run:

"The Apache Group (AG) is the informal organization of the people in the core group responsible for developing the Apache HTTP Server Project, consisting entirely of volunteers. None of these developers need to spend large periods on the project in a consistent or planned manner, the process is maintained in a decentralized manner and with asynchronous communications. AG uses an e-mail list to communicate with each person, and a minimal voting system is used to solve problems "(Mockus et al., 2000).

Let's briefly talk about some open source applications:

4.1. GitHub

Source control management, as the name suggests, is about the tools to manage the source code of any project, making it easy to do business together and efficiently. Source control management provides tools for various code developers to collaborate and contribute. Developed by Linus Torvalds in 2005, open source GitHub is a project management system established to enable different people we know or do not know to support and participate in a project that we are currently under construction or are developing. GitHub is a social code sharing company and hosts 31 million open source projects developed by 12 million people (Anthes, 2016).

In recent years Microsoft's control system Source Depot could not support the size of Windows. Microsoft has become friendly to Linux, almost saying 'I love it'. As a result, Microsoft announced that they adapted to GitHub developed by Linux (Paul, 2017).

4.2. Open Source Applications in Mobile Communication

The android operating system, first Android Inc. It was developed by a company called and acquired by Google in 2005. This system based on Linux is partially open source. iOS is Apple's mobile operating system. Android has 87% of the market

and iOS has 12% (Moontechnolabs, 2018). In fact, both Google and Apple are profiting from this business. Apple sells expensive phones and has developed country markets such as the USA, Europe, and Australia. Google is dominant in the Asian and African mobile operating system market. In this way, Google enables more people to reach web services and search engines (Weinberger, 2016).

4.3. Open Source Applications in Cloud Computing

50% of the data centers in the world are located in the USA and China (Cimpanu, 2017). An increasing number of people do it instead of storing information on their computers, but on servers, they can access via the Internet. Millions of people carry their data and work to sites owned by Google (Johnson, 2008).

The interesting thing about cloud computing is that we redefine everything we did before as cloud computing. The computer world is under the influence of even more fashion than the fashion that women are interested in (Johnson, 2008). According to Richard Stallman, cloud computing is a trap and this trap will force people to buy more licensed systems, costing them more over time. "This stupidity is worse than stupidity; it's a marketing hype" (Johnson, 2008). Hackers' goal is to change the world through software. They despised bad software, academic bureaucracy, and selfish behavior (Williams, 2002: 46).

Even stranger, they began to compete on an open source basis, still run by Amazon, Microsoft, and Google. No, it is not open code in the sense of "exporting kernel codes". "Although cloud services are based on open source code, they are generally licensed," says Doug Cutting^{††}. If you ask me, "in general" means "always" (Asay, 2017).

Open source software, specific to Azure, Microsoft speaks the language of love, deciding it should appeal to developers (Asay, 2017). Although all major cloud operators appear to compete on an open source basis on the surface, this is not the case in reality (Asay, 2017). Since the cloud business is not just a code business, what happens is those giant companies such as Amazon, Microsoft and Google use the "open source movement" for marketing purposes to different degrees.

4.4. Open Source Applications in Data Science: R and Python

R and Python, two open source software languages, are among the languages that are frequently used today, especially in data science applications. R is an implementation of the S language developed at Bell Labs and was put into use in 1995 after six years of preparation by Ross Ihaka and Robert Gentleman. Python, inspired by languages such as C, Modulo-3 and ABC, was developed by Guido Von Rossum in 1991. Both languages have a large number of packages and libraries that can be used in applications. Users close to statistics prefer R, and those close to engineering prefer Python. The design and development of R is managed by the R-core Group and the R Foundation. For Python, the Python Software Foundation does the same task. While R focuses on data analysis, statistics, and graphical models, Python is more concerned with code readability and efficiency (Tutorial, 2020).

5. How Do Big Data Companies View the Open Source Movement?

The example of Microsoft is interesting in understanding the value of the open source and free software today. In the early 2000s, big software companies started to perceive free software as a threat. Steve Ballmer, the former CEO of Microsoft, described Linux as cancer, referring to its free license in 2001 (Smith, 2001). Big firms used to say, "Who can trust these long-haired anarchist guys?" they were asking. Those who developed the programs said, "Why should I give the program I have written with great effort to these guys?" they said. However, things have changed over time. The same Steve Ballmer said to Microsoft CEO Satya Nadella, 15 years later, this time in December 2016, when Microsoft announced that SQL servers would run on Linux, "(Kawamoto, 2016).

The rapid development of technology in the cyber field has made legal regulations in this field far behind. The Internet environment, which reminds us of the days of the Wild West attack, first experiences technological developments, but legal regulations cannot keep up with these developments. This phenomenon affects almost all of the events and relationships in cyber space. The open source movement can also be interpreted as filling the gap in cyberspace.

Derek Weeks, vice president of software security firm Sonatype, says that "interest in open source software has grown in recent years to meet the growing demand for new technology." For this reason, system developers produce more code in a shorter time. Researchers at Sonatype estimate that 80% to 90% of every modern application developed consists of open source components. Although open source development is so effective, it can also pose serious security problems. In a recent survey, 25% of developers in the government and industry say their organizations have experienced a security breach of over 70% compared to 2014. Emile Monette, a cyber supply chain expert at the Cyber Security and Infrastructure Security Agency, says "Most open source developers focus more on functionality than security and do not keep track of the latest vulnerabilities and updates." Therefore, it is difficult for agencies to know if the software they are purchasing has an open source vulnerability overlooked by the vendor. According to Weeks; no one can write great code, and all code everywhere is likely to have a vulnerability, whether it's an open source component or from scratch (Corrigan, 2019).

When we want to share a photo on Facebook, an infrastructure that stores and publishes this photo as data does this on Facebook. But does Facebook do all these things, or does Facebook compile and compile the work done by some volunteers to get them done? The correct answer is the second, and Facebook does not even thank these volunteers (Eghbal, 2016: 19).

In 2015, Google opened the source code for TensorFlow, a set of tools developed for deep learning applications. "He hoped that a community of students and hobbyists would be created and these people would contribute," he told Google. By the end of the 2000s, big data companies had begun to learn how to benefit from open source software. For example, some modules of NodeXL, which was developed as an open source for drawing and analysis of networks, started to be sold by Microsoft for money.

^{††} Author of Hadoop codes.

In 2016, the official federal source code policy was determined and published for the first time in the USA (Scott, 2016). With this policy, it was aimed to ensure compliance of the public sector with open source applications. Some authors see this as an important triumph of the open source movement (Finley, 2016). Today, open source software is used almost everywhere, from our phones to our cars. On the other hand, large companies are increasingly interested in open source software. Walmart has implemented a cloud computing management system, the Exxon Mobil developer toolkit, and these are all open source software. London Stock Exchange Group, JP Morgan and Wells Fargo support Hyperledger (Finley, 2016).

Craig Mundie, Vice President of Microsoft, described the sharing of source code with the public domain 15 years ago in 2002 as "unhealthy". At that time, "History has shown us that although such models have a place; this model did not reveal successful software that is widely accessible to consumers, easy to use, powerful and in the mass market "(Charny, 2002). The media, accustomed to hearing these from people at the highest levels of Microsoft, naturally described this as "the last step in Microsoft's protracted public relations campaign, which was conducted within the framework of the war with the open source code movement (Charny, 2002).

Someone who developed an open source software in the eyes of big data companies was, after all, a resume who applied for the job and spoke money no matter what the market. According to the information obtained from a survey, the percentage of companies using open source software in their operations almost doubled from 42% to 78% from 2010 to 2015, and the percentage of those who contributed to open source projects is% in 2014-2015. It increased from 50 to 64% (Anthes, 2016). Twitter works with thousands of Linux servers. It took and used the 13 million-line Linux kernel^{††} for Google Android, the world's largest open source project.

Since 1999, IBM has been supporting open source Linux operating systems and spending important financial, technical and marketing resources for the growth of Linux technology for the development of Linux technology. IBM's interest in Linux stems from its being a good operating system as well as providing an attractive total cost for IBM customers. For example, IBM spent one billion dollars on the development of FOSS (Free Open Source Software) and they did its public relations campaign with the slogan "Peace, Love and Linux" (Söderberg, 2008: 5). 10% of productive code developers working in FOSS projects write 72% of the codes (Söderberg, 2008: 28). IBM is also included in the Apache community, which develops open source Internet technologies, and contributes regularly and effectively to this community. Professor William Scherlis of Carnegie Mellon University says, "A hierarchical structure that is generally controlled in large and successful projects such as Apache and Eclipse; There are detailed ownership and governance structures in The Apache Foundation and The Eclipse Foundation (Anthes, 2016).

Software development today is a complex business. Communities that develop open source code can have large and complex relationships. There are two groups in the open source software business. The first of these is the "community" that will write open source software, the second is the "companies" that are

interested in the results of this project and are in competition. The community and companies, in other words, the stakeholders of the project, form an ecosystem consisting of units in interaction that will produce software and services for a common market. It is clear that, for both the community and companies, it is important how cooperation will work and how the business will align with the policies and expectations of stakeholders (Gonzalez-Barahona et al., 2012). Projects are often communicated with non-formal open forums, topic audiences, and e-mailing lists, and the stakeholders of the project (Linäker et al., 2016).

In a study that quantitatively analyzed the Apache Hadoop ecosystem, stakeholders of this project were classified and ranked as follows (Linäker et al., 2016):

- *Infrastructure provider*: Sells infrastructure based on Apache Hadoop (Wandisco).
- *Platform user*: Uses Apache Hadoop in data storage and processing (Baidu, Xiaomi, eBay, Twitter, Yahoo).
- *Product provider*: Sells Apache Hadoop packaged products (Cloudera, Hortonworks, Huawei).
- *Product supporter*: Provides support for Apache Hadoop without a product vendor (Intel).
- *Service provider*: Sells related services to Apache Hadoop (Altiscale, Microsoft, NTT Data).

Again in the same study, the cooperation between stakeholders was examined with the measures of network science and it was found that the network has weak connections, low density; It has been determined that the most important forces that sustain the business in the Apache Hadoop ecosystem are the product suppliers (Cloudera, Hortonworks, Huawei) (Linäker et al., 2016).

Although open source software is useful, it also contains some risks. Open source software is available in numerous online repositories. Therefore, developers are not able to know the quality or security level. When companies do not invest in open source software, they run into a number of risks. As a result, they have to pay extra to eliminate these risks.

The risks posed by open source software are:

- Most software developers work with the idea that they can access open source software for free and use it unlimitedly. But this is wrong. All open source software works subject to their own licenses and some restrictions. Technology developed using GPL, LGPL, AGPL, CDDL, MPL and Open SSL can result in the whole project being open source license. The developer of this software will be known as the owner of the software. But its developer will not be known as a single person. This software will then become "de facto open source software". This concept is known as "copyleft" license (Escrowlondon, 2018).
- Open source software has no legal obligations to security and there may not be a community that can help you maintain security. Software developers are usually not security experts. For this reason, software developers

^{††} A kernel is a piece of software that provides a layer between hardware and software on a computer.

may not have enough knowledge about how to implement best practices (Infocyte, 2019).

- As of 2019, there are more than 200 license types. Most of these licenses are not compatible with each other. As the number of components increases, it becomes difficult to track and compare all license terms (Infocyte, 2019).
- If a company is good at buying, using open source code in technology could negatively affect it. If the buyer breaches open source licensing obligations, the code may fall into the hands of the public and the company's competitors (Escrowlondon, 2018).
- When open source code is open, hackers and malicious users will be able to access this code and find vulnerabilities within the open source code (Escrowlondon, 2018).
- If software developers instead of integrating all components; If they copy and paste sections of code from open source software, they can inadvertently increase some risk. When this is done, it will be impossible to trace the code for security (Infocyte, 2019).

6. Conclusions and Recommendations

Among the approaches that add value to big data, open source software is of great importance. In the long run, this software will support developments in subjects such as the Internet of Things (IoT) and Industry 4.0. Quantum computers and cloud computing services to be provided on this subject will also be discussed with open source software more and more every day. For example, a company called D-Wave opened Qbsolv, its basic quantum computing software, as open source software in early 2017 (Jackson, 2018). Once a die-hard foe of open source, Microsoft's love for open source has outstripped even Google today (Asay, 2017).

In October 2015, Amazon said Elastic copied a free software tool that they use to search and analyze data and sell them as a paid service. Within a year, Amazon started making more money from Elasticsearch developed by Elastic, making it easier for people to use the tool with its other offerings. That's why Elastic added premium features to Elasticsearch and limited what companies like Amazon can do. But Amazon still copied most of these features and continued to use them for free. Elastic Amazon sued in federal court in California for infringing its trademark. "Misleading consumers," Amazon said. Amazon denied this was anything wrong. The trial continues as of 2019 (Wakabayashi, 2019). In addition, Amazon uses Amazon Web Services to copy and integrate software developed by other big data companies. Amazon combines discounts by embedding competing offers to make their products cheaper and gives their service an advantage. While these actions allow customers to buy more from Amazon, software developers may not gain any financial gain. On the other hand, despite all these negativities, small companies have no choice but to work with Amazon. Given Amazon's wide reach with customers, startups often accept some restrictions on promoting their products. In addition, small companies voluntarily share customer and product information with Amazon and pay Amazon a certain fee to sell via Amazon Web Services (Wakabayashi, 2019).

"According to GitHub, the top ten projects on its platform have thousands of individual contributors... but mostly these are run by large tech companies. Is this a problem for technology?" (Swanner, 2019) It is undoubtedly a problem. In the meantime, let us remind you that Microsoft owns GitHub. Swift, the software language developed by Apple and made open source in 2015, is growing rapidly. But few realize that Apple has patented features for this language. Swift is indeed open and free, but features of the language are patented... (Swanner, 2019).

Let us return to Richard Stallman's sentence quoted at the very beginning of our article: "All rights are not reserved". When we examine the examples of organized movements supported by the power of big data companies, unfortunately, this sentence is doomed to remain as a sentence smelling romance. Big data companies know very well how the efforts of those who develop open source software with great good will to monetize their products, and they abuse their goodwill efforts.

Today, the power of big data companies is accepted by everyone. These companies are very valuable, highly organized and perhaps the best managed companies in the world. The love of open source software of these companies we mentioned continues increasingly and the work has come to the software to be produced for quantum computers. We do not know if it is possible to say that this is a different kind of exploitation. However, we can at least qualify this relationship as "abuse". When we are asked to predict the future, we can say the following: We can't think that the unorganized, well-intentioned and sharing software developers who take part in the open source code movement against FAMA (Facebook, Amazon, Microsoft, Alphabet) have the slightest chance.

As a result, whether the open source movement will continue to deliver innovation for years to come is still a controversial issue. Given the current speed, the open source movement has, it is probably not wise to bet against it. However, the challenges customers face in integrating open source projects and dealing with the increased complexity cannot be easily set aside. On the other hand, there seems to be no alternative for companies considering using Big Data Technology to gain a competitive advantage. Because open source software should be used regardless of the complexity. "Open source has increasingly become a very important part of technology at Bloomberg," said Gideon Mann, Bloomberg's head of data science, to *Datanami* last year. "Nowadays it is not possible to stay competitive without using open source, so there are a lot of open sources we use" (Woodie, 2018). There is a virtuous cycle at the heart of the success of open source. As open source software gets better, it attracts more users, which makes the product even better over time (Woodie, 2018). In essence, being open is a fundamental vision of how the world should work. However, in a world working with more and more software and cloud services, the question faced by businesses everywhere is now, "Should we be open or closed?" so far it has become clear in most places, but "How clear should we be?" (Robinson, 2019) of course, that is another question that needs to be discussed.

References

- Alanazi, H. O., Abdullah, A. H., & Qureshi, K. N. (2017). A Critical Review for Developing Accurate and Dynamic Predictive Models Using Machine Learning Methods in Medicine and Health Care. *Journal of Medical Systems, 41*(4), 69.

- Anthes, G. (2016). Open Source Software No Longer Optional. *Communications of the ACM*, 59(8), 15-17.
- Arel, I., Rose, D. C., & Karnowski, T. P. (2010). Deep Machine Learning-a New Frontier in Artificial Intelligence Research [research frontier]. *IEEE Computational Intelligence Magazine*, 5(4), 13-18.
- Asay, M. (2016). Why Linux Creator Linus Torvalds Doesn't Really Care About Open Source. 2016, February 22. Retrieved from <https://www.techrepublic.com/article/linux-creator-linus-torvalds-doesnt-really-care-about-open-source/>. 12.03.2020.
- Asay, M. (2017, March 30). BIG Open-Source Love Microsoft and Google? You Still Won't Catch AWS. Retrieved from https://www.theregister.co.uk/2017/03/30/doe_open_source_ness_in_cloud_matter/. 10.03.2020.
- Baack, S. (2015). Datafication and Empowerment: How the Open Data Movement Rearticulates Notions of Democracy, Participation, and Journalism. *Big Data & Society*, 2(2), 2053951715594634.
- BrainyQuote (2020). Linus Torvalds Quotes. Retrieved from https://www.brainyquote.com/quotes/linus_torvalds_137861. 12.03.2020.
- Carillo, K., & Okoli, C. (2008). The Open Source Movement: a revolution in software development. *Journal of Computer Information Systems*, 49(2), 1-9.
- Celińska, D. (2016). Why Do Users Choose Open Source Software? Analysis of the Network Effect. *Informatyka Ekonomiczna*, 39(1), 9-22.
- Chambers, M., Doig, C., & Stokes-Rees, I. (2017). Breaking Data Science Open. O'Reilly Media, Incorporated.
- Charny, B. (2002, January 2). Microsoft Raps Open Source Approach. Retrieved from <https://www.cnet.com/news/microsoft-raps-open-source-approach/>. 12.05.2020.
- Chen, X. W., & Lin, X. (2014). Big Data Deep Learning: Challenges and Perspectives. *IEEE access*, 2, 514-525.
- Cimpanu, C. (2017, June 2). Hadoop Servers Expose over 5 Petabytes of Data. Retrieved from <https://www.bleepingcomputer.com/news/security/hadoop-servers-expose-over-5-petabytes-of-data/>. 12.05.2020.
- Corrigan, J. (2019). How do agencies make sure the crowdsourced code that underlies nearly every piece of tech on the market is safe to use? Retrieved from <https://www.nextgov.com/cybersecurity/2019/05/inside-governments-open-source-software-conundrum/157186/>. 25.12.2020.
- Crego, E., Munoz, G. & Islam, F. (2013, July 26). Big Data and Deep Learning: Big Deals or Big Delusions? Retrieved from https://www.huffpost.com/entry/big-data-and-deep-learnin_b_3325352. 01.09.2020.
- Çelik, S. (2018). Büyük Veri. *Gece Kitaplığı*. Ankara. ISBN: 978-605-288-811-7.
- Eghbal, N. (2016). *Roads and Bridges: The Unseen Labor Behind Our Digital Infrastructure*. Ford Foundation.
- Escrowlondon (2018). Top risks in using open source code in software development. Retrieved from <https://www.escrowlondon.com/news/top-3-risks-using-open-source-code/>
- Finley, K. (2016, August 11). Open Source Won. So, Now What? Retrieved from <https://www.wired.com/2016/08/open-source-won-now/>. 12.05.2020.
- Friedman, T. L. (2007). *The World is Flat 3.0: A Brief History of the Twenty-first Century*/Thomas L. Friedman. NY.: Picador.
- Gonzalez-Barahona, J. M., Izquierdo-Cortazar, D., Maffulli, S., & Robles, G. (2012). Using Software Analytics to Understand How Companies Interact in Free Software Communities.
- IBM (2013). IBM White Paper. Big Data for the Intelligence Community. Retrieved from <https://pdfs.semanticscholar.org/6bff/f82a993eab399a84d82081977a8e1fcb57.pdf>. 12.05.2020.
- Infocyte (2019). 7 Risks Posed by Open-Source Software and How to Defend Yourself <https://www.infocyte.com/blog/2019/06/18/7-risks-posed-by-open-source-software-and-how-to-defend-yourself/>
- Jackson, M. (2018, December 19). Quantum Computing Progress Will Speed up Thanks to Open Sourcing. Retrieved from <https://singularityhub.com/2017/01/28/quantum-computing-progress-will-speed-up-thanks-to-open-sourcing/>. 20.06.2020.
- Jani, K. (2016). The Promise and Prejudice of Big Data in Intelligence Community. *arXiv preprint arXiv:1610.08629*.
- Johnson, B. (2008). Cloud Computing is a Trap, Warns GNU Founder Richard Stallman. *The Guardian*, 29.
- Kawamoto, D. (2016, March 11). Ballmer: Linux no Longer a Cancer. Retrieved from <https://www.informationweek.com/software/ballmer-linux-no-longer-a-cancer--/d/d-id/1324661>. 13.07.2020.
- Kepes, B. (2013). Open Source is Good and All, But Proprietary is Still Winning.
- Li, Y., Wu, F. X., & Ngom, A. (2018). A Review on Machine Learning Principles for Multi-view Biological Data Integration. *Briefings in Bioinformatics*, 19(2), 325-340.
- Linåker, J., Rempel, P., Regnell, B., & Mäder, P. (2016, March). How Firms Adapt and Interact in Open Source Ecosystems: Analyzing Stakeholder Influence and Collaboration Patterns. In *International Working Conference on Requirements Engineering: Foundation for Software Quality* (pp. 63-81). Springer, Cham.
- Manyika, J., et. al. (2011). Big data: The Next Frontier for Innovation, Competition, and Productivity. McKinsey Global Institute. Retrieved from http://www.mckinsey.com/Insights/MGI/Research/Technology_and_Innovation/Big_data_The_next_frontier_for_innovation. 10.10.2020.
- McAfee, A., Brynjolfsson, E., Davenport, T. H., Patil, D. J., & Barton, D. (2012). Big Data: The Management Revolution. *Harvard Business Review*, 90(10), 60-68.
- Mockus, A., Fielding, R. T., & Herbsleb, J. (2000, June). A Case Study of Open Source Software Development: The Apache Server. In *Proceedings of the 22nd International Conference on Software Engineering* (pp. 263-272).
- Moontechnolabs (2018, September 14). Apple vs Android - A Comparative Study 2017. Retrieved from <https://www.moontechnolabs.com/apple-vs-android-comparative-study-2017/>. 22.07.2020.
- Najafabadi, M.M., Villanustre, F., Khoshgoftaar, T.M. et al. (2015). Deep Learning Applications and Challenges in Big Data Analytics. *Journal of Big Data* 2. <https://doi.org/10.1186/s40537-014-0007-7>.

- Paul, J. (2017). Microsoft is Now Using Linus Torvalds' Open Source Tool for Windows Development. Retrieved from <https://itsfoss.com/microsoft-using-git/>. 20.07.2020.
- Piatetsky, G. (2017). KDnuggets, Machine Learning Overtaking Big Data?. Retrieved from <https://www.kdnuggets.com/2017/05/machine-learning-overtaking-big-data.html>. 22.07.2020.
- Rajkomar, A., Dean, J., & Kohane, I. (2019). Machine Learning in Medicine. *New England Journal of Medicine*, 380(14), 1347-1358.
- Robinson, S. (2019, January 30). Open Source Technology Will Influence the Future of Cloud. Retrieved from <https://www.businessinsider.com/sc/open-source-technology-future-of-cloud-2019-1>. 06.09.2020.
- Robles, G., González-Barahona, J. M., Izquierdo-Cortazar, D., & Herraiz, I. (2009). Tools for the Study of the Usual Data Sources Found in Libre Software Projects. *International Journal of Open Source Software and Processes (IJOSSP)*, 1(1), 24-45.
- Scott, T. (2016). (United States Chief Information Officer), Rung E. Anne United States Chief Acquisition Officer, "M-16-21 Memorandum for the Heads of Departments and Agencies", <https://sourcecode.cio.gov/>. 12.02.2020.
- Smith, JT. (2001, June 1). Microsoft's Ballmer: Linux is a Cancer. 1 June 2001. Retrieved from <https://www.linux.com/news/microsofts-ballmer-linux-cancer>. 25.02.2020.
- Söderberg, J. (2008). Hacking Capitalism: The Free and Open Source Software Movement.
- Swanner, N. (2019, August 8). Big Tech Controls Many Major Open Source Projects. Is that a Problem? Retrieved from <https://insights.dice.com/2019/08/05/open-source-google-microsoft-apple-github/>. 12.04.2020.
- Talend (2020). What is Big Data? [Free guide & definition]. (2020, July 22). Retrieved from <https://www.talend.com/resources/future-big-data/>. 05.09.2020.
- Tirole, J., & Lerner, J. (2000). The Simple Economics of Open Source.
- Tutorial (2020). Choosing Python or R for Data Analysis? An Infographic. Retrieved from <https://www.datacamp.com/community/tutorials/r-or-python-for-data-analysis#gs.G2t5njE>. 15.06.2020.
- Wakabayashi, D. (2019, December 15). Prime Leverage: How Amazon Wields Power in the Technology World. Retrieved from <https://www.nytimes.com/2019/12/15/technology/amazon-aws-cloud-competition.html>. 17.05.2020.
- Weinberger, M. (2016, December 21). The Whole 'Mac vs. PC' Thing is so Over, and 'Android vs. iPhone' is Close Behind. Retrieved from <https://www.businessinsider.com/apple-mac-vs-microsoft-windows-pc-is-over-2016-12>. 18.06.2020.
- Williams, S. (2002). Free as in Freedom (2.0)-Richard Stallman and the Free Software Revolution. *Boston: The Free Software Foundation*.
- Woodie, A. (2018). Weighing Open Source's Worth for the Future of Big Data. (2018, February 26). Retrieved from <https://www.datanami.com/2018/02/26/weighing-open-sources-worth-future-big-data/>
- Yu, D., & Deng, L. (2010). Deep Learning and its Applications to Signal and Information Processing [exploratory dsp]. *IEEE Signal Processing Magazine*, 28(1), 145-154.
- Zuech, R., Khoshgoftaar, T.M. & Wald, R. Intrusion Detection and Big Heterogeneous Data: a Survey. *Journal of Big Data* 2, 3 (2015). <https://doi.org/10.1186/s40537-015-0013-4>.



Separation of Incoming E-Mails Through Artificial Intelligence Techniques

Mete Yağanoğlu^{1*}, Erdal Irmak²

^{1*} Atatürk University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Erzurum, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3045-169X), yaganoglu@atauni.edu.tr

² Gazi University, Faculty of Technology, Department of Electrical and Electronics Engineering, Ankara, Turkey, (ORCID: 0000-0002-4712-6861), erdal@gazi.edu.tr

(First received 15 November 2020 and in final form 31 January 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.841299)

ATIF/REFERENCE: Yağanoğlu, M., & Irmak, E. (2021). Separation of Incoming E-Mails Through Artificial Intelligence Techniques. *European Journal of Science and Technology*, (21), 690-696.

Abstract

Technological developments are making individuals and organizations ever more dependent on e-mail to communicate and share information. The increasing use of e-mail as an essential and popular communication method poses potentially severe threats to the Internet and society. Spam e-mails cause security problems for internet users and waste storage, bandwidth, and productivity resources. The increase in the volume of spam e-mails has created an intense need to develop more reliable and robust antispam filters. Therefore, it has become necessary to recommend adaptive spam detection models. In this paper, an intelligent system for the detection and filtering of spam e-mails is described. Machine learning methods aim to create the best models using the available data and analyze new data most accurately, with the help of the model created using previous data. In this study, spam detection was carried out using machine learning methods. In this study, K-nearest neighbors, support vector machine, and decision trees were used in the classification stage. The classification achieved an accuracy of 98.2% in spam detection.

Keywords: Spam Detection, Natural Language Processing, Artificial Intelligence, Machine Learning.

Yapay Zeka Teknikleri İle Gelen E-Postaların Ayırıştırılması

Öz

Teknolojik gelişmeler, bireyleri ve kuruluşları, iletişim kurmak ve bilgi paylaşmak için e-postalara daha bağımlı hale getirmektedir. E-postaların internet üzerinden önemli ve popüler bir iletişim olarak artan kullanımı, İnternet'i ve toplumu etkileyen ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Spam e-postalar internet kullanıcıları için güvenlik sorunlarına sebep olmaktadır ve depolama, bant genişliği ve üretkenlik açısından kaynakları boşa harcamaktadır. İstenmeyen e-postaların hacmindeki artış, daha güvenilir ve sağlam antispam filtrelerin geliştirilmesi için yoğun bir ihtiyaç yaratmıştır. Bu nedenle, uyarlanabilir spam algılama modellerinin önerilmesi bir gereklilik haline gelmektedir. Bu çalışmada, spam e-postalarını başarılı bir şekilde tespit etmek ve filtrelemek için yapay zekaya dayalı akıllı bir algılama sistemi önerilmektedir. Makine öğrenimi yöntemleri, mevcut verileri kullanarak en iyi modelleri oluşturmayı ve önceki veriler kullanılarak oluşturulan model yardımıyla yeni verileri en doğru şekilde analiz etmeyi amaçlamaktadır. Bu çalışmada sınıflandırma aşamasında k-en yakın komşu, destek vektör makinesi ve karar ağaçları kullanılmıştır. Bu çalışmada, istenmeyen e-posta tespiti makine öğrenimi yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir ve % 98.2 başarı oranına ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Spam Tespiti, Doğal Dil İşleme, Yapay Zeka, Makine Öğrenmesi.

* Corresponding Author: yaganoglu@atauni.edu.tr

1. Introduction

An e-mail has become practical and popular for correspondence, as the number of Internet users has increased. The increasing use of the Internet and web technology has changed the way in which people use computers. Although the Internet is used for research, examinations, and entertainment, it also provides an environment in which users can share their ideas and get feedback. Millions of people use e-mails for personal, business, marketing, education, and other communication purposes. E-mail management is a significant and growing problem because it tends to be misused by individuals and organizations. Sending a large number of unsolicited bulk e-mails is called spam e-mail.

Spam detection is the subject of considerable research (Spirin & Han, 2012; Shi & Xie, 2013; Sirivianos et al., 2011; Khamis et al., 2020; Al-Ajeli et al., 2020). Spam has become a platform of choice used by cybercriminals to spread malicious loads such as viruses and trojans (AlMahmoud et al., 2017). For these purposes, e-mails must be separated and forwarded to users.

Spam filtering is a typical two-class problem involving separating legitimate messages from spam. Spam filtering separates incoming e-mails into spam or ham. It prevents spam from coming to a user's e-mail without the user seeing it. Separation of spam before it arrives in the mailbox is the most critical step for spam filtering. Spam is often described as unsolicited or unsolicited bulk electronic messages. The rapid increase in the amount of spam makes it increasingly difficult to filter e-mail manually.

There are many spam filtering techniques (Dada et al., 2019). Contextual Filtering Methods consist of automatic filtering rules and detect incoming e-mails using classification approaches. Contextual filtering was developed to separate spam e-mails by evaluating the words and phrases in the e-mail using different analytical methods. Spam and ham e-mails are removed from the user's mailbox in the Case-Based Spam Filtering method. A machine learning algorithm is used to train datasets and to test whether incoming mail is spam. The Intuitive Spam Filtering Method uses pre-built rules to evaluate many patterns, which are usually regular expressions, against a selected message (Dada et al., 2019; Christina et al., 2010). The Previous Similarity-Based Spam Filtering Method approach uses sample-based machine learning methods to classify incoming e-mails according to their similarity to stored samples. This approach uses the k-closest running algorithm to filter spam e-mails (Sakkis et al., 2001). Adaptive spam filtering classifies incoming spam e-mails by separating them using client-based filter management (Dada et al., 2019; Pelletier et al., 2004)

2. Related Works

In the study by Asghar et al., a dataset from Amazon's website and sentences tagged for spam detection was used, and spam detection was done (Asghar et al., 2020).

Tan et al. propose a community decision approach that combines the characteristics of e-mails to detect spam effectively (Tan et al., 2018).

Tekerek proposes a spam SMS detection technique was proposed using Data Mining methods. A dataset containing 747 spam SMS and 4827 ham SMS was used. Cross-validation technique was used to evaluate the spam SMS estimation in the dataset. The proposed study achieved a 98,33% success rate for the Support Vector Machine (SVM) algorithm (Tederek, 2019).

Gunawan et al. performed a correct classification process with a success rate of 96.49% in their spam detection study using 985 text messages, 860 spam, and 125 non-spam (Gunawan et al., 2018).

El-Alfy et al. proposed a model for filtering messages for e-mail. They analyzed various methods to conclude the features that were determined so that the complexity could be reduced. The authors used features such as SVM and Naive Bayes algorithms and URLs, spam domain, defect words, recipient address, and subject area (El-Alfy et al., 2016).

Faris et al. proposed a detection system using an automatic identification feature to separate spam e-mails. Experimental results were obtained as the proposed system's accuracy was 92.2%, recall 97.6%, and precision 93.3% (Faris et al., 2019).

AlMahmoud et al. proposed Spamdooop, a common spam detection platform facility that protects big data privacy. Spamdooop uses a fairly parallel coding technique that allows spam campaigns to be detected at competitive times (AlMahmoud et al., 2017).

Saleh et al. provide a study on the detection of anomalies in spam e-mails. In their studies, it was observed that performance continued to improve with the inclusion of more datasets, and a true 98.5% spam and raw detection rate increased, while the Real Positive and Real Negative detection rate increased by 6% (Saleh et al., 2019).

Zhu and Tan proposed a method to extract attributes for spam e-mails. In the method, a two-dimensional feature is created by estimating the spam and non-spam e-mail concentrations. Then, all the properties of each field are combined into one feature vector. Various experiments were carried out on four comparison companies using 10-fold cross-validation. This approach has been shown to be able to extract information about effective location from messages (Zhu, Y., & Tan, 2010).

Olatunji proposed an SVM-based model for spam detection. For training and test sets, 95.87% and 94.06% accuracy were obtained, respectively (Olatunji, 2019).

In the study by Kumar et al., Hidden Markov Model and ID3 were used to identify e-mails as spam or raw. For this purpose, an Enron dataset of 5172 e-mails containing 2086 Spam and 2086 raw pre-classified e-mails was used, achieving a success rate of 89% (Kumar et al., 2018).

Given the work is done so far and the accuracy of performance achieved to date, it is clear that more research is needed about the possibility of getting better results using the same popular datasets. Therefore, this study is set up to create an alternative model that can push the accuracy level to a higher level than previous models.

3. Material and Methods

Machine learning methods aim to create the best model using the available data and to analyze the new data most

accurately with the help of the model created with the previous data as new data arrive. Machine learning and artificial intelligence methods have been frequently used recently to separate spam e-mails successfully. In this study, spam detection was made by machine learning methods.

In the studies conducted, classification methods have been proposed to separate the incoming e-mails. These techniques calculate the rate of occurrence of keywords or patterns in e-mail messages and decide properties (Dada et al., 2019).

3.1. Natural Language Processing (NLP)

NLP, a sub-science of artificial intelligence and linguistics, is defined as sensing texts in natural languages and sound waves by computer, analyzing software, and transferring to the computer environment. Natural language processing is the study of training human language computationally. In other words, it is the science of teaching computers how to understand and produce human language. NLP aims to increase the comprehension and understanding skills of the computer by processing the language that people use by speaking and writing in daily life. It aims to briefly establish a semantic link between human language and computers (Yao, 2019). In this study, NLP has been used for sentence segmentation.

3.2. Natural Language Tool Kit (NLTK)

NLTK was first established as part of the computer science course in 2001. NLTK includes adaptive and calculable linguistic modules written as open source. It stands for natural language toolkit. It is an open-source library created with over 50 corpus and lexical resources developed and developed with Python programming language to work with human language data. There are also several modules in this library; these modules are the packages we will use while pre-processing our data, using machine learning algorithms, processing with the Twitter API, etc. For instance, tokenization in a sentence and stemming operations by removing the existing attachments in the Word (Yao, 2019). In this study, NLTK was used in pre-processing, tokenization, and stemming stages. NLTK also saves us from dealing with unnecessary words during the pre-processing phase of a data set, that is when we are going to make the data the machine can understand.

3.3. Spam Filtering Process

Spam filtering aims to minimize the volume of spam e-mails. Filtering is the process of separating harmful e-mails to detect malicious applications and eliminate the effects of this. Spam filters are distributed in front of the e-mail server or in the mail relay with the firewall (Katakis et al., 2007; Liu & Gouda, 2008). E-mail senders can forward e-mails to a mail server that processes e-mails for many clients on the Internet. The mail server can use a spam filter to remove spam and then forward the filtered e-

mails to addressed clients. Filters can be applied to clients, where they can be installed, and computers to mediate between some endpoint devices (Christina et al.,2010).

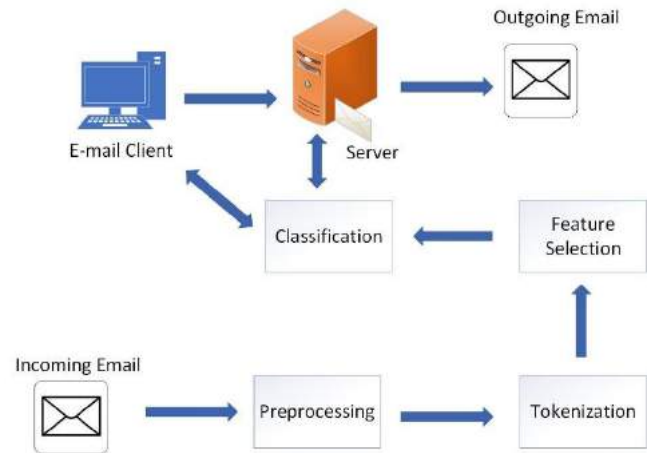


Figure 1. Spam filtering architecture

Figure 1 shows the steps for spam filtering. Incoming mail is divided into training and test models after pre-processing and feature extraction. The label of the e-mail received during the training is evident. After the training phase is completed, the e-mail received during the test phase is separated.

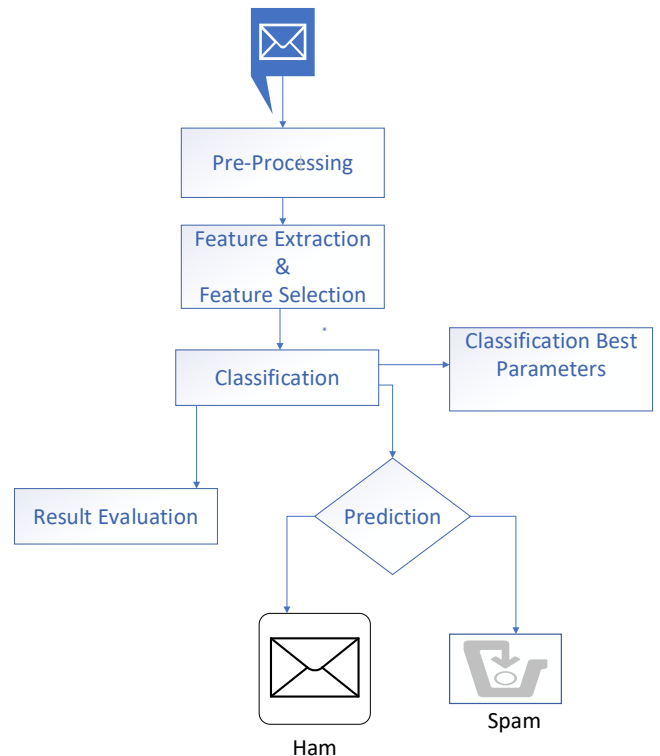


Figure 2. The steps for spam filtering

The necessary steps to be observed in the mining of data in an e-mail message can be divided into the following categories: These are pre-processing, feature extraction, feature selection, and classification. Figure 2 shows the basic steps in the proposed spam filtering framework. It creates a classification model during the training phase, using a group of pre-classified messages. During this phase, messages are pre-processed and

analyzed to extract related features. A vector represents each message. Verification can be performed on-demand while the classifier is being trained. Once a classifier is created, it will be deployed to estimate the class of newly received messages.

3.3.1 Pre-processing

The use of e-mails in daily life causes the number of spam e-mails to increase. For this reason, spam e-mails need to be separated successfully. One of the most important steps of successful spam filtering is the implementation of appropriate pre-processing steps.

As a result of these operations, the link texts in the e-mails and the links of the e-mails were distinguished and pre-processed. Thanks to the pre-processing stage, all of the link texts were capitalized, the problem of foreign characters was resolved, punctuation was removed, some words that contain some special meaning, and words shorter than three letters were distinguished.

Pre-processing is the method used and developed to obtain meaningful data from the incoming e-mail. These require some standard Natural Language Processing (NLP) pre-processing steps such as uppercase, lowercase conversion, noise removal, lexicon normalization, object standardization, clipping word suffixes, stemming, lemmatization, and frequency of terms. It is necessary to prepare the e-mails ready for analysis. These pre-processing steps can affect the overall performance of the detection algorithm. Before spam filtering, the content of the e-mail is marked by dividing each word of the e-mail and then saving them in a word list data structure. For this purpose, the python library was used to learn.

3.3.2 Feature Extraction & Feature Selection

After the pre-processing, the content of the e-mails is saved in a list as a list of words containing all relevant words that each classified e-mail has. Then, every e-mail in the dataset is checked again, and if the word contained in the e-mail is in the word list, then it is labeled according to the classified e-mail, which is raw or spam. For instance, if the word "click" is present in the word list and is found with a Spam e-mail and the result is positive, the same word in the list is labeled spam. In other words, it is separated by adding it to the list so that it is spam or non-spam.

3.3.3 Classification

Classified data is the process of classification of unclassified data using various algorithms. K-nearest neighbors (KNN) is a nonparametric and simple learning algorithm. KNN is used in data mining, attack detection systems in providing information security, in many areas of genetics and bioinformatics, and in many similar systems such as pattern recognition systems. The smallest K is determined depending on the number of K among the ordered values. The neighboring sample closest to the sample to be tested is determined. Class labels of K neighbors found for the classification of the sample to be tested are used. Choosing the most appropriate value for K is done by examining the data. KNN protects all training data and makes decisions based on the training data set. KNN is based on determining the

distances between an unknown object and each training set object (Deng et al., 2016).

SVM is an algorithm used because it gives a high success rate to solve classification and regression problems. One of the simple and highly effective classification methods used in classification problems is support vector machines. SVM, one of the statistical learning algorithms and developed by Vapnik, has yielded successful results in many real problems. SVM is a controlled classification algorithm based on statistical learning theory. SVM is known as the training algorithm based on the probability distribution of statistical techniques. The SVM working principle aims to maximize the vertical distance of these samples to the separating plane, in other words, the hyper-plane by finding the closest samples of the classes while classifying the data. The basic logic of SVM is to determine the best separating plane for data structures that can be separated linearly. Thus, the misclassification of the data in both the training and test set was minimized. In a linear separable situation, there can be many decision planes that separate classes. SVM detects the greatest distance between the two classes from these planes. The vectors closest to this plane are also called support vectors. In nonlinear problems, samples are moved to a space where they can be separated in higher dimensions and linearly, and the solution is made in this new space (Torabi et al., 2015).

Decision tree (DT) is a machine learning algorithm that produces successful results for spam filtering. DT, class-known sample data is divided into small groups with simple decision-making steps. Data similar to each other are grouped with each division process, and classification is made by induction method. DT should make relatively little effort from users during the training of datasets. It is very useful because the decision trees can be easily applied to very large and missing datasets and both continuous and categorical variables can be analyzed because the results are understandable. DT is a nonparametric method that is an alternative to the least-squares and logistic regression method and does not include the necessary assumptions for regression-type problems (Dada et al., 2019).

After our dataset is separated as training and test, pre-processing, feature extraction, and classification will be done and the incoming e-mail will be separated. E-mails must be classified and tagged according to the categories of ham e-mail or spam e-mail. All features are used for spam and ham detection during testing. If these words are later found to be spam, they are compared to the duplicate set of properties when saved as spam, and the e-mail data is converted into two values, spam and ham. Our classifier then classifies this e-mail as spam if spam is more likely than ham. In this way, test e-mails are classified as ham or spam.

4. Experimental Results

4.1. Dataset

Spam e-mails have been used randomly as datasets in the literature (Almaida et al., 2011; Hidalgo et al. 2012). In Dataframe, the pandas library of the dataset, there are two columns of data, with 5572 object-type data in each column (Almaida et al., 2011). The ratio of ham and spam data is shown in Figure 3 (Number of spam: 4825, number of ham: 747). After

30% of the dataset was reserved for the test, pre-processing, feature selection, and classification steps were applied.

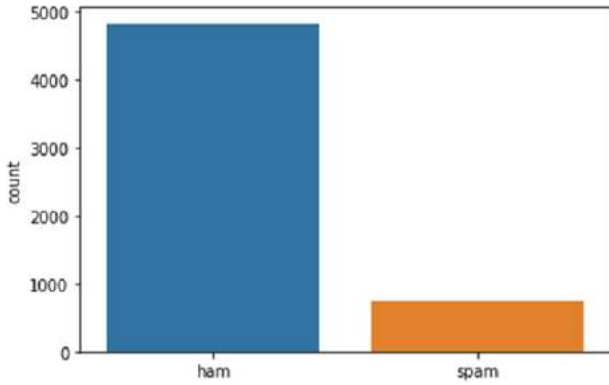


Figure 3. Dataset spam/ham ratio

4.2. Evaluation Criterion

Confusion matrix was used to measure model performance. True Positive (TP), False Negative (FN), False Positive (FP), True Negative (TN) figures are given in the confusion matrix (Bozkurt et al., 2020; Yağanoğlu and Köse, 2018). According to these figures, accuracy, sensitivity, specificity, and F1 score were calculated.

4.3. Success Rates

After our dataset was separated into training and test datasets, pre-processing steps such as tokenizing, removing unnecessary words, rooting, finding sentence elements, removing structures in the sentence, and feature selection were applied. In the classification step, three different classifiers were used. The results of the decision tree classification, confusion matrix, and evaluation are shown in Figure 4.

As seen in Figure 4, spam e-mails were identified with an accuracy of 98.2%. The figure shows TP, FN, FP, and TN values and their ratios. Also, the accuracy, sensitivity, specificity, and F1 score values were calculated and are shown. The results of the KNN classification, confusion matrix, and evaluation are shown in Figure 5.

As seen in Figure 5, spam e-mails were identified with an accuracy of 96.3%. The figure shows TP, FN, FP, and TN values and their ratios. Also, the accuracy, sensitivity, specificity, and F1 score values were calculated and are shown. The results of the SVM classification, confusion matrix, and evaluation are shown in Figure 6.

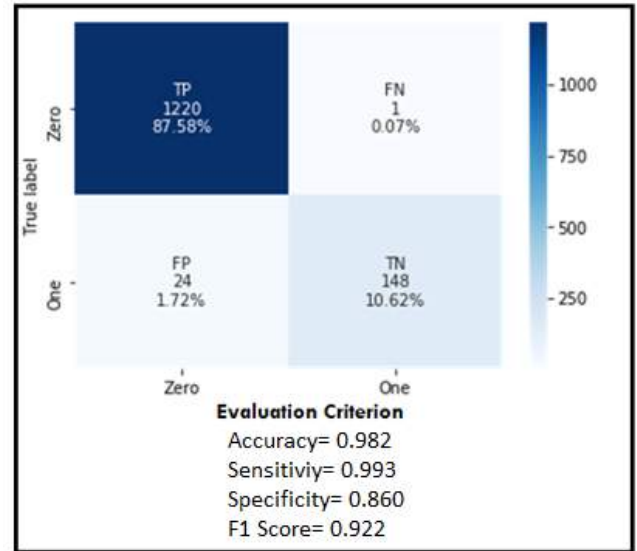


Figure 4. Decision Tree Confusion Matrix and Evaluation Criterion

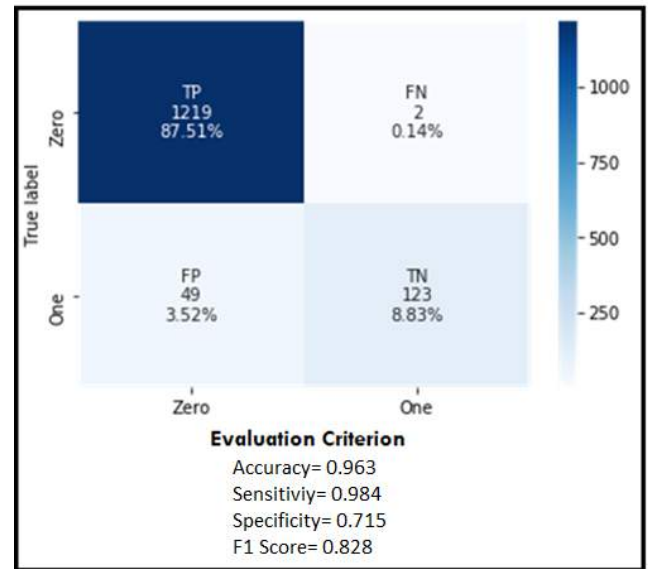


Figure 5. KNN Confusion Matrix and Evaluation Criterion

As seen in Figure 6, spam e-mails were identified with an accuracy of 96.7%. The figure shows TP, FN, FP, and TN values and their ratios. Also, the accuracy, sensitivity, specificity, and F1 score values were calculated and are shown.

Classification results are as shown in Table 1. As seen from the table, the best success rate was determined by the Decision Tree algorithm.

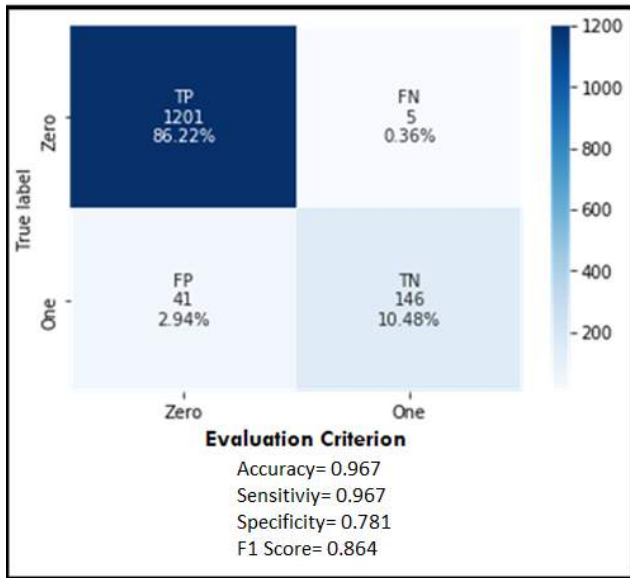


Figure 6. SVM Confusion Matrix and Evaluation Criterion

Tablo 1. Classification Results

Classifier	Accuracy	Sensitivity	Specificity	F1 Score
DT	0.982	0.993	0.860	0.922
SVM	0.963	0.984	0.715	0.828
KNN	0.967	0.967	0.781	0.864

5. Discussion and Conclusions

In this study, artificial intelligence techniques were applied to the spam filtering problem. After application of the pre-processing and feature extraction methods, the data were classified as ham or spam to classify incoming e-mails. Attempts by different researchers to solve the spam problem using machine learning classifiers are discussed. The architecture of e-mail spam filters and the processes for filtering spam e-mails are examined. Public datasets and performance metrics that can be used to measure the effectiveness of spam filters were investigated. The spam threat of machine learning algorithms was effectively addressed, and comparative studies of existing classification techniques were carried out.

Datasets in the literature containing messages labeled as spam or non-spam were used to determine the study's success. Some of the data were used as training data and the rest as a query dataset. The data were pre-processed and trained using a Vector Space Model. An accuracy of 98.2% in spam detection was achieved.

The dramatic increase in spam in recent years has created considerable interest among many researchers. There has been significant progress in the field of spam filtering. Spam e-mail is a common type of cyber-problem that all Internet users encounter in their daily lives. Spam e-mails waste resources and

pose serious security threats. Detection and filtering are still the most appropriate solutions to combatting spam e-mails. Almost all e-mail servers run some types of spam e-mail filters on incoming e-mails, but we all have firsthand experience with the frustration of spam e-mails, and we are constantly experiencing it. The biggest problem is to immediately identify new types of spam e-mails with no information beforehand. Spammers constantly and quickly adopt new techniques to bypass spam filters and continue to create new types of spam e-mail. Most spam e-mail filters require some information about the nature of spam e-mails, and detection is often difficult. For these reasons, more research is needed to increase the effectiveness of spam filters. This research will facilitate the development of spam filters using machine learning approaches. We hope that researchers will use this study to conduct qualitative research in spam filtering using transfer learning and deep learning algorithms.

References

- Al-Ajeli, A., Alubady, R., & Al-Shamery, E. S. "Improving spam e-mail detection using hybrid feature selection and sequential minimal optimization". Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 19(1), 535-542, 2020.
- AlMahmoud, A., Damiani, E., Otok, H., & Al-Hammadi, Y. "Spamdoop: A privacy-preserving Big Data platform for collaborative spam detection". IEEE Transactions on Big Data, 2017.
- Almeida, T. A., Hidalgo, J. M. G., & Yamakami, A. "Contributions to the study of SMS spam filtering: new collection and results". In Proceedings of the 11th ACM symposium on Document engineering, pp. 259-262, 2011.
- Asghar, M. Z., Ullah, A., Ahmad, S., & Khan, A. "Opinion spam detection framework using hybrid classification scheme". Soft computing, 24(5), 3475-3498, 2020.
- Bozkurt, F., Köse, C., & Sari, A. "A texture-based 3D region growing approach for segmentation of ICA through the skull base in CTA". Multimedia Tools and Applications, 79(43), 33253-33278, 2020.
- Christina, V., Karpagavalli, S., & Suganya, G. "E-mail spam filtering using supervised machine learning techniques". International Journal on Computer Science and Engineering (IJCSSE), 2(09), 3126-3129, 2010.
- Dada, E. G., Bassi, J. S., Chiroma, H., Adetunmbi, A. O., & Ajibuwa, O. E. "Machine learning for e-mail spam filtering: review, approaches and open research problems". Heliyon, 5(6), 2019.
- Deng, Z., Zhu, X., Cheng, D., Zong, M., & Zhang, S. "Efficient kNN classification algorithm for big data". Neurocomputing, 195, 143-148, 2016.
- El-Alfy, E. S. M., & AlHasan, A. A. "Spam filtering framework for multimodal mobile communication based on dendritic cell algorithm". Future Generation Computer Systems, 64, 98-107, 2016.

- Faris, H., Ala'M, A. Z., Heidari, A. A., Aljarah, I., Mafarja, M., Hassonah, M. A., & Fujita, H. "An intelligent system for spam detection and identification of the most relevant features based on evolutionary random weight networks". *Information Fusion*, 48, 67-83, 2019.
- Gunawan, D., Rahmat, R. F., Putra, A., & Pasha, M. F. "Filtering Spam Text Messages by Using Twitter-LDA Algorithm". *IEEE International Conference on Communication, Networks and Satellite (Comnetsat)*, pp. 1-6, IEEE, 2018.
- Hidalgo, J. M. G., Almeida, T. A., & Yamakami, A. "On the validity of a new SMS spam collection". *11th International Conference on Machine Learning and Applications*, Vol. 2, pp. 240-245, IEEE, 2012.
- Katakis, I., Tsoumakas, G., & Vlahavas, I. E-mail mining: Emerging techniques for e-mail management. In *Web Data Management Practices: Emerging Techniques and Technologies* (pp. 220-243). IGI Global, 2007.
- Khamis, S. A., Foozy, C. F. M., Ab Aziz, M. F., & Rahim, N. "Header Based E-mail Spam Detection Framework Using Support Vector Machine (SVM) Technique". In *International Conference on Soft Computing and Data Mining*, pp. 57-65, Springer, Cham, 2020.
- Kumar, V., Kumar, P., & Sharma, A. "Spam E-mail Detection using ID3 Algorithm and Hidden Markov Model". In *2018 Conference on Information and Communication Technology (CICT)* (pp. 1-6). IEEE, 2018.
- Liu, A. X., & Gouda, M. G. "Diverse firewall design. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*". 19(9), 1237-1251, 2008.
- Olatunji, S. O. "Improved e-mail spam detection model based on support vector machines". *Neural Computing and Applications*, 31(3), 691-699, 2019.
- Pelletier, L., Almhana, J., & Choulakian, V. "Adaptive filtering of spam". In *Proceedings. Second Annual Conference on Communication Networks and Services Research*, pp. 218-224, IEEE, 2004.
- Sakkis, G., Androutsopoulos, I., Paliouras, G., Karkaletsis, V., Spyropoulos, C. D., & Stamatopoulos, P. "Stacking classifiers for antispam filtering of e-mail". *arXiv preprint cs/0106040*, 2001.
- Saleh, A. J., Karim, A., Shanmugam, B., Azam, S., Kannoopatti, K., Jonkman, M., & Boer, F. D. "An intelligent spam detection model based on artificial immune system". *Information*, 10(6), 209, 2019.
- Shi, W., & Xie, M. "A reputation-based collaborative approach for spam filtering". *AASRI Procedia*, 5, 220-227, 2013.
- Sirivianos, M., Kim, K., & Yang, X. "Socialfilter: Introducing social trust to collaborative spam mitigation". In *2011 Proceedings IEEE INFOCOM*, pp. 2300-2308, IEEE, 2011.
- Spirin, N., & Han, J. "Survey on web spam detection: principles and algorithms". *ACM SIGKDD explorations newsletter*, 13(2), 50-64, 2012.
- Tan, Y., Wang, Q., & Mi, G. "Ensemble decision for spam detection using term space partition approach". *IEEE transactions on cybernetics*, 50(1), 297-309, 2018.
- Tekerek, A. "Support vector machine based spam SMS detection". *Politeknik Dergisi*, 22(3), 779-784, 2019.
- Torabi, Z. S., Nadimi-Shahraki, M. H., & Nabiollahi, A. "Efficient support vector machines for spam detection: a survey". *International Journal of Computer Science and Information Security*, 13(1), 11, 2015.
- Yağanoğlu, M., & Köse, C. "Real-time detection of important sounds with a wearable vibration based device for hearing-impaired people". *Electronics*, 7(4), 50, 2018.
- Yao, J. "Automated Sentiment Analysis of Text Data with NLTK". In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1187, No. 5, p. 052020). IOP Publishing, 2019.
- Zhu, Y., & Tan, Y. "Extracting discriminative information from e-mail for spam detection inspired by immune system". In *IEEE Congress on Evolutionary Computation* (pp. 1-7). IEEE, 2010.



Cultivation Planning across Europe using Machine Learning Techniques

Kubilay Demir*

* Bitlis Eren University, Electrical Electronics Engineering Department, Bitlis, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5355-2472) Email: kdemir@beu.edu.tr

(First received 10 November 2020 and in final form 31 January 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.822785)

ATIF/REFERENCE: Demir, K. (2021). Cultivation Planning across Europe using Machine Learning Techniques. *European Journal of Science and Technology*, (21), 697-707.

Abstract

Due to their limited accessibility to the soil information and price prediction information of the agricultural products, farmers grow their crops based on the common practice in their regions. This leads to non-sustainability in agriculture and imbalance between farmers' production and customers' demand, respectively. To address the above-mentioned issues, we propose an ICT-based cultivation planning policy and system, named AgriTrade. The basic operation of AgriTrade lies in, first, incenting farmers to participate in the cultivation planning in an interactive manner using a mobile app, second, employing machine learning algorithms to provide high precision price and soil information for farmers using data collected from across the supply chain. To demonstrate the feasibility of AgriTrade, we carry out a pilot use case by collecting the last 15 years' tomato prices of Europe and the statistics of tomato cultivation of farmers in Turkey, which is one of the biggest tomato exporters of the EU. AgriTrade forecasts the future tomato prices based on the historical tomato prices of the EU. We compare the traditional way marketing and forecast-based marketing of tomatoes: While the traditional way marketing is to immediately sell the product when it is grown, the forecast-based marketing is to store the product until the time the product's prices is higher based on the predicted prices and to sell it. The results show that when the farmers of Turkey apply the forecast-based marketing, they can remarkably increase their profits around 9.1% compared with the traditional way marketing.

Keywords: Smart Farming, Agrifood Chain, Machine Learning, Price Forecast.

Makine Öğrenmesi Tabanlı Tüm Avrupa için Tarımsal Ekim Planlaması

Öz

Tarımsal ürünlerin toprak bilgisine ve fiyat tahmin bilgilerine sınırlı erişimleri nedeniyle, çiftçiler mahsullerini bölgelerindeki ortak uygulamaya göre yetiştirmektedir. Bu, tarımda sürdürülebilirliğin devam ettirilememesine ve çiftçilerin üretimi ile tüketicinin talepleri arasında bir dengesizliğe yol açmaktadır. Yukarıda belirtilen sorunları ele almak için AgriTrade adlı BİT (ICT) tabanlı bir tarımsal ürün yetiştirme planlama politikası ve sistemi öneriyoruz. AgriTrade'in temel operasyonu, öncelikle çiftçileri bir mobil uygulama kullanarak interaktif bir şekilde ekim planlamasına katılmaya teşvik etmek, ikincisi, tedarik zincirinden toplanan verileri kullanarak çiftçilere yüksek hassasiyetli fiyat ve toprak bilgisi sağlamak için makine öğrenimi algoritmalarını kullanmaktır. AgriTrade'in fizibilitesini göstermek için, Avrupa'nın son 15 yıllık domates fiyatlarını ve AB'nin en büyük domates ihracatçılarından biri olan Türkiye'deki çiftçilerin domates yetiştiriciliği istatistiklerini toplayarak bir pilot kullanım örneği gerçekleştiriyoruz. AgriTrade, AB'nin tarihi domates fiyatlarına dayalı olarak gelecekteki domates fiyatlarını tahmin ediyor. Domatesi geleneksel yöntemle pazarlamayı ve tahmine dayalı pazarlamayı karşılaştırıyoruz: Geleneksel pazarlama yöntemi, ürünü yetiştirildiğinde hemen satmak iken, tahmine dayalı pazarlama, ürünü, ürünün fiyatlarının daha yüksek olduğu tahmin edilen ana kadar depolamaktır. Sonuçlar, Türkiye'deki çiftçilerin tahmine dayalı pazarlamayı uyguladıklarında, geleneksel yolla pazarlamaya kıyasla karlarını % 9,1 civarında önemli ölçüde artıracaklarını gösteriyor.

Anahtar Kelimeler: Akıllı Tarım, Makine Öğrenmesi, Tarımsal Gıda Zinciri, Fiyat Tahmin.

* Corresponding Author: kdemir@beu.edu.tr

1. Introduction

The difference between demand and supply of agricultural products in the EU causes financial loss for both farmers and consumers. In particular, without considering the effect of dynamicity of agricultural markets (local and global), growing agricultural products with only farmers' foresight leads to an imbalance between food demand and supply. To address this issue, existing Market Information Systems (MISs), collecting, processing, and disseminating information on the agricultural markets, must be enhanced by feeding online data acquired across the supply chain (from farmers to consumers) to offer more intelligent recommendations to farmers (Deichmann et al. 2019; Aker & Fafchamps, 2015).

Moreover, growing unsuitable agricultural products in the farms causes a decrease of product quality and soil fertility. Since the nutrient content of soils changes over time, to maintain the fertility and product quality, changing the product grown over time is of great importance. To get the highest yield and ensure sustainable farming, building a Soil Information System (SIS) (enriched interacting with farmers), containing comprehensive soil tests data, water, wind, sunshine, and precipitation data for each area, is an essential task (Tayyebi et al. 2016; Wolfert et al. 2017; Seyedmohammadi et al. 2018).

The above-mentioned MIS and SIS systems' usage by farmers and their effects on farms and farmers' income, despite the proposed enhancements, might be very limited. The reason of this issue is the lack of 1) an appropriate media providing an interactive communication platform between farmers and the systems, and 2) incentives that direct farmers toward the recommendations (Aker & Fafchamps, 2015; Antonopoulou et al. 2010).

To address this issue, we propose an ICT-based cultivation planning system, named AgriTrade, which exploits the incentives (fundings of the EU and national governments to support farmers) to direct the farmers to grow the recommended products in the cultivation plan. The recommended products list for each farm is delivered to farmers using a mobile app, also enabling farmers to respond to the offers. By doing so, AgriTrade is able to direct farmers to suitable products in addition to knowing what farmers will grow. The cultivation plan is performed according to the data provided from the enhanced MIS and SIS systems by employing machine learning (ML)-based algorithms, supervised by a training data provided by financial, agricultural field experts. The ML-based algorithms deal with dynamicity of the data of the MIS, and estimates the missing information about the farms from existing data of the other farms in the SIS. Furthermore, the developed ML-based forecast algorithm allows farmers to predict the future prices of their products. According to the forecasted prices, farmers can store and then sell when the time the price is higher, which enable the farmers to increase their incomes.

Contributions in the case of usage of AgriTrade for the EU and its partners: 1) the farmer can select right products to grow, considering the whole picture, not only the EU but also the global agricultural markets. 2) farmers can improve their incomes exploiting the forecasted prices 3) sustainable farming can be easily stimulated 4) the incentives of the EU and local governments are effectively managed. and 5) the consumers will not face temporary but extreme prices for some products.

To show feasibility of the AgriTrade, we carry out a pilot use case, where a comparison is fulfilled between traditional farmer immediately selling their products and farmers storing and then selling their products based on the price forecast. To do so, we collected average tomato prices of the EU between 2004 and 2020 (Seyedmohammadi et al. 2018). We also derived the information of Antalya/Turkey (one of the biggest exporter of EU (The Ministry of Agriculture and Forestry of Turkey & TAGEM, 2018)) about tomato cultivation types, production pattern and gross production value (GPV) from (David-Benz et al. 2012; European Commission, 2020; Seyedmohammadi et al. 2018). In addition, we develop a Long Short Term Memory (LSTM)-based forecasting algorithm for AgriTrade. Finally, we calculate income of the farmers for two cases: 1) if they would store for one or two months and then sell their tomatoes according to the forecasted prices for the last five years, provided by the LSTM-based algorithm, or 2) if they would immediately sell their tomatoes. The results clearly denote that the farmers can increase their income around 9.1% and in total, Antalya farmers can earn around 2M euro additional money per year. This results shows that such an ICT-based system can help the farmers to rise their income, as well as moving towards more sustainable farming. The proposed system is a conceptual system, which needs further investigation, research and implementation to achieve more mature ICT-based agrifood system. However, this works presents a good starting point for the researchers to built such a system.

The remainder of the article is organized as follows: Section 2 discusses the related works. Subsequently, Section 3 introduces the concept and methodology of the proposed approach, called AgriTrade. Section 4 presents the evaluation of the proposed approach

2. Related Works

The proposed project spans on three distinct subjects in the study of the digital agriculture:

2.1. Market Information Systems (MIS)

Farmers contact with markets and each stages of the value chain via MIS. The market price, fluctuation over time, shows the whole demand for that product and value of current day. Without the MIS, farmers could not access these prices information, and thus relying on information obtained from local traders to identify when, whether, where, or for how much to offload their products (Deichmann et al. 2019). There are a number of empirical researches assessing the effect of market information on prices of farmers. The general results demonstrate that obtaining regular market information leads to around 15% higher prices in farm gates (Deichmann et al. 2019; Aker & Fafchamps, 2015; Fafchamps & Minten, 2012; David-Benz et al. 2012). Furthermore, the mobile apps used for MISs can benefits to the agricultural sector as follows a) accessing real-time agricultural product prices via mobile app enable farmers to sell their crops to higher prices. Also, obtaining accurate and online information about weather and diseases/pesticides provides better risk management. b) using the mobile app a farmer can obtain recommendations made by online system about farming practices, which causes higher crop yield in addition to higher quality crops (Trendov, et al. 2019). A practical use case for MIS: in Germany, some supply providers and farm services provides special solutions for individual farms and make recommendations to farmers to offer efficient, sustainable and economic ways for each farmer (Pesce et al. 2019; Giesler et al. 2020).



Figure 1: Conceptual Architectures of AgriTrade

2.2. Agricultural Decision Support Systems (ADSS)

The ADSS paves the way for selecting appropriate crops to be grown, pesticides, irrigation types by using the acquired field data (Antonopoulou et al. 2010; Tayyebi et al. 2016; Bacco et al. 2019). Antonopoulou et al. (2010) proposes a Web-based ADSS, akin to AgriTrade. The app proposed by Antonopoulou et al. (2010) help to farmer to select appropriate crops for their farms for the cultivation period. SmartScape (Tayyebi et al. 2016) allows policymakers to assess the consequence of switching of agricultural products on diverse ecosystem services in agricultural regions by employing a ADSS and collected data. Foodlocker (Alawode et al. 2020), a Nigerian foodstuff and grocery aggregator, takes advantage of deep learning method for predicting demand for farm products and consumer goods. The API-AGRO provides a platform for sharing agricultural data for free obeying the ethical and legal rules in France. API-AGRO targets at cooperation of public and private actors, exploiting a technological platform, in order to introduce innovations for high-performance and sustainable agriculture (API-AGRO, 2019).

However, simply providing general agricultural information and software for individual tasks will not be useful for the agricultural sectors in the smart farming era, since farmers will require not only personalized per farm and farmer recommendations but also recommendations considering local and global markets, and ex-post prices. Moreover, collaboration of all smallholder farmers will require to perform a proper cultivation priority planning among the EU.

To fill this gap, in this paper, AgriTrade first makes personalized recommendations to farmers by exploiting the collected data across the whole agri-food chain. The most important contribution of our approach is to proportionally match the funding provided by EAFRD with the recommendations

generated by AgriTrade in order to attract the farmers to the recommended cultivation plan. By doing so, AgriTrade will significantly contribute the alignment of supply and demand, sustainable farming and protection of climate, etc. in Europe.

3. Concept and Methodology

In this section, we will first introduce the main concept of our idea and then go into details about methodology of the proposed approach.

3.1. Concept

In this paper, we propose a holistic agricultural system, named AgriTrade, consisting of multiple agricultural policies and ICT-based methods. AgriTrade carries out a cultivation planning to regulate agricultural markets and international trade considering sustainability objectives. AgriTrade fulfills the cultivation planning, based on the data acquired from farms to markets across Europe. By doing so, AgriTrade plans to fix the imbalance between agricultural production and consumption inside Europe. Moreover, the export and import of agricultural products must be considered while embodying the cultivation planning. Therefore, the project considers the commodity exchange parameters in addition to the data of the agricultural markets in the cultivation planning.

On the other hand, in the cultivation planning, another crucial parameter is the field information including all geographical and soil information per field and farm. The proposed project builds a soil information system, which enables the AgriTrade to recommend right agricultural products to be planted for each farm across Europe in the cultivation planning.

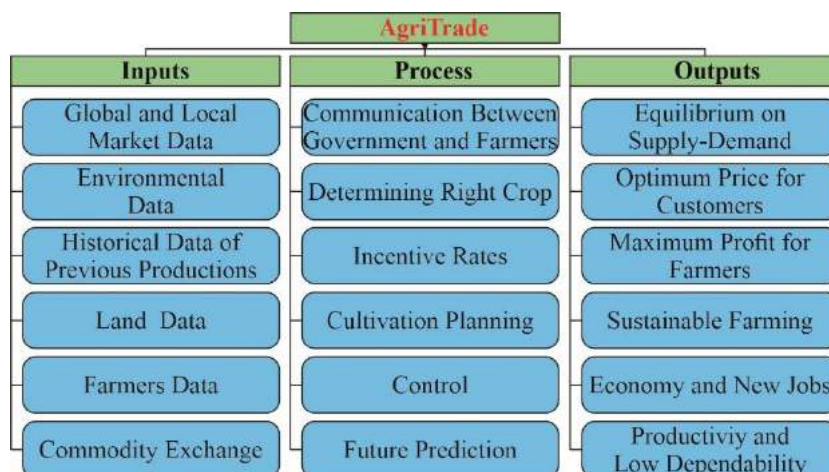


Figure 2: Overall Process of AgriTrade

The collection of various massive amounts of data for the cultivation planning necessities intelligent data management in addition to proper interpretation of the data. To do so, AgriTrade takes advantage of both cutting edge technologies such as machine learning and knowledge of experts in the finance and agriculture fields.

Assumptions

Implementation of AgriTrade, we have some assumptions as follows:

- All transactions of food supply chain between farms and markets are recorded and accessible in an online system e.g., when farming products are sold to any buyers.
- Land information, such as parcel and maps etc., can be obtained from an online system.
- Water information system for Europe (wise) can provide adequate information about irrigation water accessibility per fields.
- Uptodate wind, sunshine, precipitation, and humidity atlases can be derived from online systems.
- Soil analyses done by farmers (at least some of them) for each year is collected in Soil Information System (SIS).

Implementation of AgriTrade requires interdisciplinary collaboration among finance, agricultural, and ICT experts. Although agricultural production, marketing and digitization are the main works of finance, agricultural, and ICT experts respectively, they jointly work to implement AgriTrade. Fig. 1 depicts general working principle of AgriTrade.

AgriTrade will be validated using open data about agricultural markets and productions, which correspond to technology readiness level 4.

3.2. Methodology

The main idea of AgriTrade is to perform an interactive cultivation planning (between farmer and the control system), based on the collected data from agricultural markets, commodity exchange and land/soil information systems.

To do this, first, we propose an interactive incentive policy (IIP), which enables AgriTrade to direct farmers to grow appropriate agricultural products, as well as to let the

administrators to know planted products before harvesting. This is carried out by developed the mobile app for farmers.

Furthermore, to offer correct incentives per farms, we propose a sustainable farmer-care agricultural production control policy, named SFAP. This policy enables AgriTrade to exploit the collected data from agricultural markets, commodity exchange and land/soil information systems in order to perform a proper cultivation planning. In addition, this policy takes into account sustainable farming and climate change mitigation while calculating the incentives.

To implement the proposed policies above, AgriTrade is equipped a digitalized system, which includes end users (farmers) and a control center. While the end user side enables farmers to cooperate in the cultivation planning via a simple interface app, the control center employs supervised machine learning technologies to provide continuous learning for the cultivation planning. In the following section, we introduce three main components of AgriTrade: Incentives, MIS, and SIS, followed by ICT-based main process. Fig. 2 shows inputs and outputs, as well as the processing steps of AgriTrade.

3.2.1. Incentives

The European Agricultural Fund for Rural Development (EAFRD) is the funding institution of the Common Agricultural Policy (CAP), supporting rural development strategies and projects. The budget amount of EAFRD (2014-20) is around 100 billion Euro. It is distributed according to six priorities: each of these priorities help the cross-cutting objectives: environment and climate change mitigation, adaptation, and innovation (cf. Pesce et al. 2019).

To achieve the above-mentioned priorities, IIP allows the system administrators to append multiple incentive parameters, affecting the AgriTrade's incentives calculation, such as:

- **P1 - Knowledge transfer & innovation:** Increasing incentive rate for farmers, investing for innovation and being open for cooperation and lifelong learning.
- **P2 – Competitiveness:** Increasing incentive rate for farmers, who have some regional disadvantages.
- **P3 – Food chain & risk management:** Increasing incentive rate for farmers, establishing/joining agricultural cooperatives for better marketing and quality, as well as for farmers insuring their farms and productions.

- **P4 – Ecosystems management:** Increasing incentive rate for farmers, following sustainable farming practices, such as preserving biodiversity, efficient water usage, preventing soil erosion, etc.
- **P5 - Resource efficiency & climate:** Increasing incentive rate for farmers, practicing organic farming to reduce ammonia emission and agri-environment-climate.
- **P6 - Social inclusion & local development:** The incentive policy of the AgriTrade helps farmers to grow products providing higher profits, thus supporting local development in rural areas.

3.2.2. Market Information System (MIS): Data acquiring, cleaning, preparation, analysis and exploration

AgriTrade is fed with multiple data sources in order to fulfill a proper cultivation plan according to SFAP policy. This data has to be gone through some stages such as cleaning, preparation, analysis and exploration.

Some of the data sources of the MIS of AgriTrade are listed as follows:

General Data:

- All transactions of agricultural productions (including past) obtained from each national Ministry of Finance in the EU.
- Import and export transactions of each agricultural product.
- Online commodity exchange data and wholesale prices of agricultural products

Data Per Farm(er):

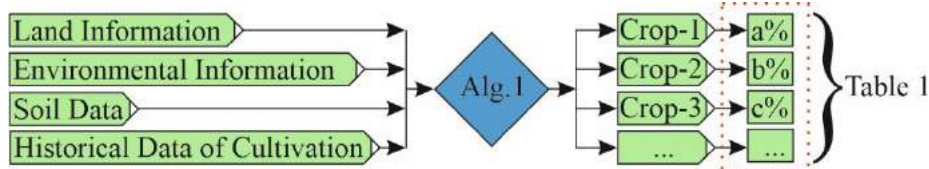


Figure 3: Finding appropriate crops for each farm considering SIS data (Step 1)

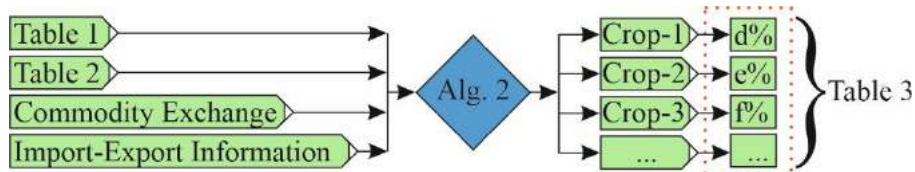


Figure 4: Selecting the "best" crops for each farm considering demand-supply and regional/global markets (Step 3)

3.2.3 Soil information system (SIS)

SFAP exploits following information while preparing planting offers per farm. SIS consists of the following datasets:

- Land information, including land record cadastre and associated attributes.
- Water, wind, sunshine, precipitation, and humidity atlases per farm/area

- Land information.
- Historical data about agricultural productions per field.
- Historical data about consumption of agricultural productions.
- Information about disadvantaged areas
- Information about farmers that are open for innovative farming, cooperation, lifelong learning and agricultural insurance. This data can be obtained by local agricultural institutes, which follows farmers and enables cooperation between farmer and AgriTrade.
- Information about farmers that follow sustainable farming practices and are sensitive to climate change in the farming. This data can be obtained by corresponding institutes, i.e., local agricultural institutes.

The collected data has to be properly cleaned, prepared, explored and analysed before usage of the SFAP of AgriTrade for the cultivation planning. To do this, finance, agriculture and data experts work together. These experts seek patterns and correlations in the data considering the financial, agricultural and environmental issues behind the collected information. This collaboration creates a relational database, which allows the SFAP and IIP employed by AgriTrade to provide a proper cultivation planning and incentive rates, respectively. AgriTrade gives each farmer an identification (ID) and links the data with its respective farmer ID. By doing so, AgriTrade can personalize calculation offers and incentive rates per farmer and farm.

Moreover, these experts are responsible to prepare the training data sets, which are essential for the supervised ML algorithms of AgriTrade. The developed algorithms help SFAP to carry out optimum cultivation planning considering each farm's/farmer's individual characteristics and the local and global agricultural markets.

- A soil tests database. A soil test contains the analyses of soil samples from agricultural fields to identify composition, nutrient content and other characteristics such as pH level or the acidity.

By using this information, it is able to offer suitable agricultural products, providing high profit and contributing sustainable farming. Furthermore, we consider that the soil database collects the soil test reports which are periodically

performed by farmers in authorized laboratories. IIP also supports farmers who regularly carry out soil tests by giving higher incentive rate.

AgriTrade employs a supervised machine learning-based algorithm, which estimates each field’s soil information (even no soil test for a field or not uptodate) by using existing soil test reports. Moreover, the supervised ML-based algorithm employed by AgriTrade uses the soil test reports, water, wind, sunshine, precipitation, and humidity information in order to find the suitable products to plant to each field.

3.2.4 ICT-based Main Process

AgriTrade fulfills the cultivation planning and calculates the incentive rates according to the IIP and SFAP policies, in 5 steps, which contain different algorithms.

STEP 1: Finding the right agricultural products per farm

In this step, AgriTrade exploits all information provided by SIS and historical information about agricultural production of MIS in order to find the right agricultural crops that give high yields.

The input data sets of Step 1 are as follows:

- Land information data set
- Data sets containing wind, water, sunshine, precipitation, and humidity atlases.
- Soil tests of fields
- Historical agricultural production data for each area
- The data sets comprising information about the effects of environmental factors, e.g., temperature, humidity and the acidity or pH level, on yield of each growing product (This data could be provided by Agricultural Experts for SIS).

Step 1 first uses a machine learning based method to estimate the soil information about the fields with no soil information. Then, Step. 1 finds optimal products for each field, considering the data derived from SIS, the data containing the environmental factors, and the historical agricultural production data for each

area. The output data set is a database table (called Tab. 1) containing field ID and yields of each agricultural product, which shows which products are suitable to grow in which areas and farms. Overall progress of Step 1 is depicted in Fig. 3.

STEP 2: Prediction the coming year agricultural production consumption and price

In Step 2, AgriTrade employs a machine learning based estimation algorithms (see Section 4.2) to forecast the coming year consumption and price of each product.

The resulting data set of this step is saved in a database table (called Tab. 2) consisting of product ID and the consumption estimation.

STEP 3: Performing the basic cultivation planning and calculating incentive rates

The aim of Step 3 is to carry out the cultivation planning by using Tab. 1 (suitable products lists for each field), Tab. 2 (the next year consumption estimation), price forecasted prices, online information about commodity exchange, and wholesale prices. To attract farmers to grow the planned products in the cultivation planning, in this step, incentive rates are calculated for each farm.

Step 3 performs above-mentioned task according to policies defined by IIP and SFAP. Firstly, according to SFAP, for each product, Step 3 finds the “best” farms this product and then selects some of them providing, in total, the estimated consumption of the product. Then, it gives the highest incentive rate for this product in this fields, assuming the farmer will plant the offered product. In such a scenario, some farmers might not want to plant the offered product. Step 3 calculates second and third incentive rates for the other products (the incentive list can differ among farms based on Tab. 1). By doing so, in this step, the farmers are encouraged to realize the cultivation planning. According to the IIP, each farmer gets an amount of funding as incentive, which is based on the size of his field. Depending on the incentive rate calculated in Step 3, the amount of funding increases if the farmer grows the offered crop. The resulting data set is a database table (Tab. 3), containing farmer ID, field ID, incentive rates for each product. This process is illustrated in Fig. 4.

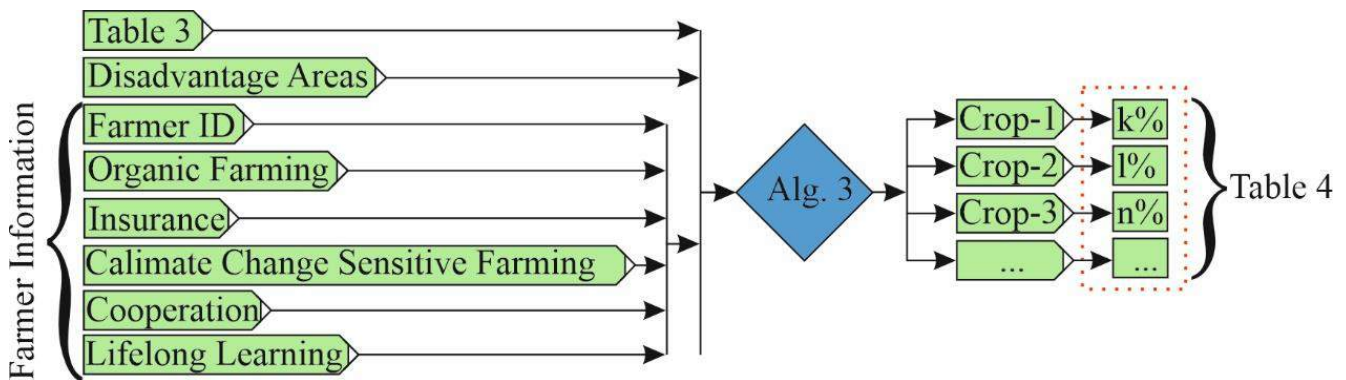


Figure 5: Adding incentives for the found crops each farm considering sustainability issues (Step 4)

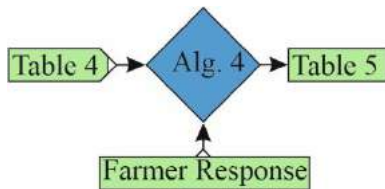


Figure 6: Re-planning depending on the farmers’ feedback (Step 5)

STEP 4: Sustainable and Climate-change-aware farming

To encourage farmers for sustainable farming, in step 4, AgriTrade amends the incentive rates in the Tab. 3 according to the regional disadvantages and whether farmers are practicing the following criteria: Organic agriculture, Lifelong learning, Cooperation, Insurance, and Climate changing sensitive farming.

According to the IIP, the farmers performing the above-mentioned actions deserve higher incentive rates. By doing so, it

is possible to reflect the impact of the internalisation of environmental costs on the competitiveness of agricultural production. The resultant data set is a database table (Tab. 4), the final version of Tab. 3, consisting of the incentive rate for each product of per field.

STEP 5: Interactive cultivation planning

The incentive rates in Tab. 4 will be introduced to farmers via a mobile app with a simple interface. If each farmer selects the product with the highest incentive rate, the cultivation plan would be properly performed. However, some farmers might select the other product with lower incentive rate. In this case, in Step 5, AgriTrade should recalculate the incentive rate and change the cultivation plan partially according to the farmers’ preferences.

To show efficiency of the proposed policy, we will implement a small-scale pilot use case with real world data. The use case is as follows:

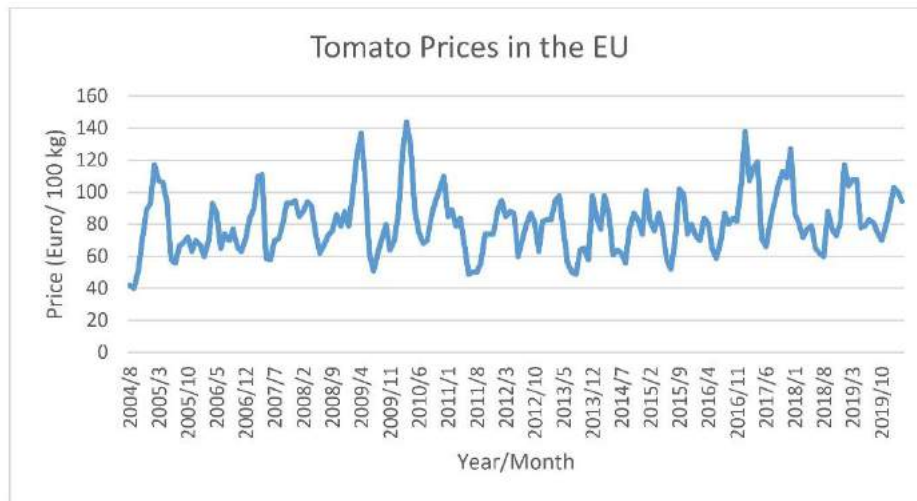


Figure 6: Original Average Tomato Prices for 100 kg (2004-2020) in the EU

4. Evaluation and Discussion

4.1 The Pilot Use Case

In Antalya/Turkey, most farmers planting tomato are not aware the fluctuation of tomato prices in the EU, which is one of the biggest importer of Antalya tomatoes (The Ministry of Agriculture and Forestry of Turkey, & TAGEM, 2018). When the farmers are informed by using AgriTrade, which analyzes the historical and real-time tomato prices and forecasts the future prices, they could store for one or two months or sell immediately their tomatoes. We will analyze the effect of the storage of tomatoes for one or two months on the income of the farmers.

Scenario: To show the feasibility of the idea, we acquired average tomato prices of the EU between 2004 and 2020 from dataset built by the EU (European Commission, 2020), which are depicted in Fig. 6. Moreover, we obtained the information about tomato cultivation types, gross production value (GPV) and production pattern of Antalya in Turkey (Çanakçı & Akıncı 2004; Özkan et al. 2001; The Ministry of Agriculture and Forestry of Turkey, & TAGEM, 2018). To forecast the coming year tomato prices, we develop a ML-based forecasting algorithm, using the

historical tomato price data of the EU. Exploiting the historical EU tomato prices data, the developed algorithm forecasts the coming year tomato prices. A comparison between the traditional way marketing and the forecasting-based marketing in terms of their effect on the farmers' income is required to see our approach's efficiency. While the traditional way is to immediately sell the products when it is grown, the forecast-based marketing is to store the products until the time the product's price is higher according to the forecast (for tomato, storage time could be one or two months, but for other products this time could be longer).

In the next section, we will introduce the ML-based algorithm, which is developed to precisely forecast the coming year prices.

Table 2. Parameters of the developed LSTM mode

Layer (type)	Output Shape	Yield (Param #)
lstm (LSTM)	(None, 4)	96
dense (Dense)	(None, 1)	5
Total params: 101		
Trainable params: 101		
Non-trainable params: 0		

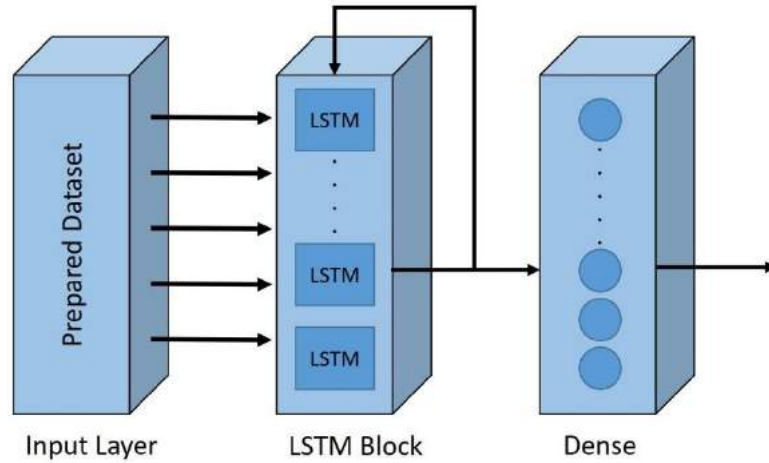


Figure 7: Presentation of the proposed model

4.2 The developed LSTM-based Forecasting Method

In this section, we will first introduce an overview of Long Short Term Memory, employed to developed the forecast algorithm, second, give details about the developed LSTM-model.

4.2.1 An Overview of Long Short Term Memory

Long Short Term Memory (LSTM) networks, are a specific version of recurrent neural networks (RNN), which are able to learn long-term dependencies and address the long-term dependency problem. LSTMs are capable of remembering information as a default for long periods of time (Hochreiter & Schmidhuber, 1997; Gers et al. 2002; Olah, 2020). While RNNs consist of a chain constructed with simple repeating modules of neural network, LSTMs' repeating modules includes four hidden layers with a special interaction between each other (Olah, 2020).

$$f(t) = \sigma (W_i \cdot [h_{t-1} * X_t] + b_f)$$

In the first layer, LSTM uses a sigmoid layer to identifies which information to be dropped from the cell state, also called forget gate layer, considering prior output, h_{t-1} and input, x_t . The output f_i of the forget gate layer in equation above² is a number between 0 and 1, where 1 means that this should be totally saved and 0 means that this should be totally thrown away (Olah, 2020).

$$i_i = \sigma (W_i \cdot [h_{t-1} * X_t] + b_i)$$

$$C_t = \tanh (W_c \cdot [h_{t-1} * X_t] + b_c)$$

Now, it is time to identify which new information to be saved in the cell state. To do so, a sigmoid layer, named input gate layer (the second layer), identifies the values to be updated, which results in i_i . Also, a \tanh layer (the third layer) builds a vector of

the candidate values, C_t . Equation above represents these operations (Olah, 2020).

$$C_t = f_t * C_{t-1} + i_t * C_t$$

Now, we switch the old cell state, C_{t-1} with the new cell state C_t . The decision is done by previous steps, now it is time to apply it using equation above, which multiplies C_{t-1} (the old state) with f_t and then add $i_t * C_t$ (new candidate values) (Gers et al. 2002).

Lastly, there is a need to identify what will be the output o_t that is found on the filtered cell state. This layer provides the output carrying out by employing equation below (Gers et al. 2002).

$$i_o = \sigma (W_o \cdot [h_{t-1} * X_t] + b_o)$$

$$h_t = o_t \tanh (C_t)$$

4.2.2 The developed LSTM-based Model

Since estimating tomato prices is a time series problem, where the order of the data is important, random data cannot be selected for the training of the model created. A normalization is applied to pull the data into the value ranges that the LSTM model will process. In this way, the data are converted into 0-1 intervals according to their values. The first part of the obtained data is employed for training the model, and the rest is used for validation and testing. It is aimed to train a single LSTM layer and test the model with these trained weights since the number of data is low and has a single feature. Since the LSTM model is a Recurrent Neural Network (RNN) model, it calculates the estimated value to be generated later in the calculation and recognition of the current value, keeping the error rate of the previous value in memory. The loss function values are created by calculating the values given to the input layer in the LSTM cell. These loss function values are thrown into the memory cell by comparing the

² W_i and b_f are the weight and bias

actual values. The value generated by the loss function is used to compute the weight and error value of each neuron in the network.

The parameters of the developed LSTM model are demonstrated in Table 1. Furthermore, the developed model is depicted as in Fig. 7. In our comprehensive tests shown below we will clearly see that the developed model provides an accurate forecast, particularly for price information.

4.2.3 Validation of the Use Case with the Scenario

Fig. 8 demonstrates the comparison the training and test results of the developed LSTM-based forecasting algorithm with the original tomato price data. We clearly see that despite the high fluctuation among months and also years, test results show that the proposed algorithm provides highly accurate results. Since the proposed method is validated with the test results, tomato prices of the coming year can be accurately forecasted. Fig. 9 denotes the forecast of the tomato price of the coming year, namely 2020/3-2021/3.

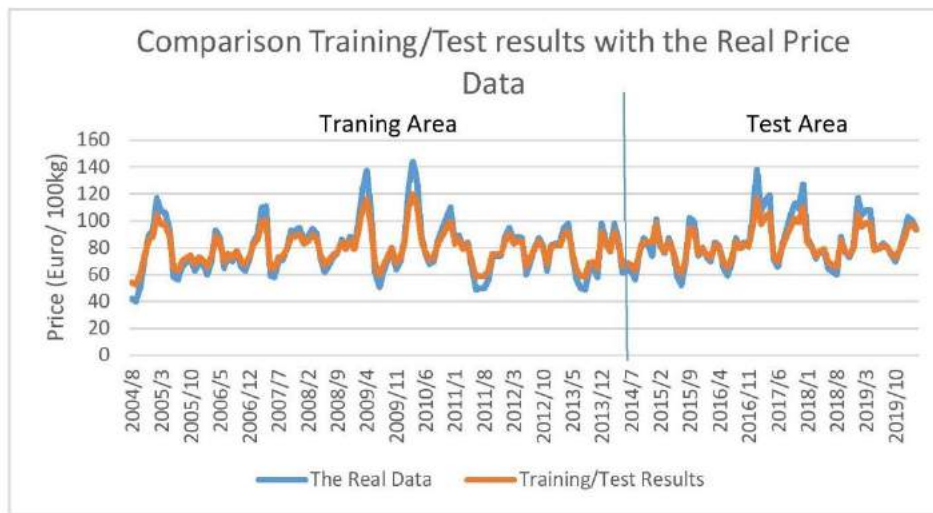


Figure 8: The comparison the original tomato prices with training and test price results

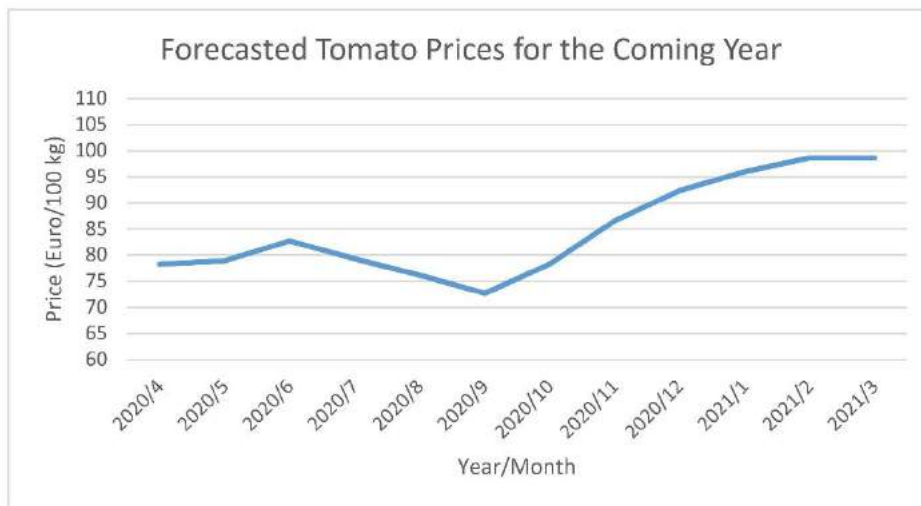


Figure 9: The forecasted tomato prices for the coming year, namely 2020/3-2021/3

Table 2. The tomato cultivation types, areas, yields of Antalya (Özkan et al. 2001).

Cultivation Types	Sown Area (ha)	Yield (kg/ha)
Single Winter Cultivation	109.5	13041
Spring Cultivation	68.6	10893
Fall Cultivation	70.1	8631
Open Field Cultivation (Summer)	33	3636

In Antalya, the farmers' cultivation types and yield of the farms are shown in Table 2 (Özkan et al. 2001). In this scenario, we simply consider that the farmers carrying out the respective cultivation type produce and sell their tomatoes in their respective season in a finely distributed manner. To illustrate this, farmers fulfilling the winter cultivation produce and equally sell their tomato in the winter months of a year, i.e., 12, 1, 2. In addition, we assume that the farmers have the ability to store their tomato for a few months. By using the forecasted tomato prices, they can save and then sell their product when the price is the highest according to the forecast. Based on this scenario, we calculated

the total income if Antalya farmers would sell their tomatoes the last 5 years based on the forecast of the developed LSTM-based algorithm, or the "finely distributed manner". This calculation shows that if the farmer would sell their tomatoes according to the forecast versus the traditional way, they improved, in total, their income by average rate of 9.1 percentage a year (~2M Euro per year, based on the corresponding years tomato prices). Fig. 10 demonstrates the increase rates of the farmers' income for the last five years and the coming year if the farmers would sell their tomatoes according to the forecast. In Fig. 10, the dotted straight line shows linear prediction line.

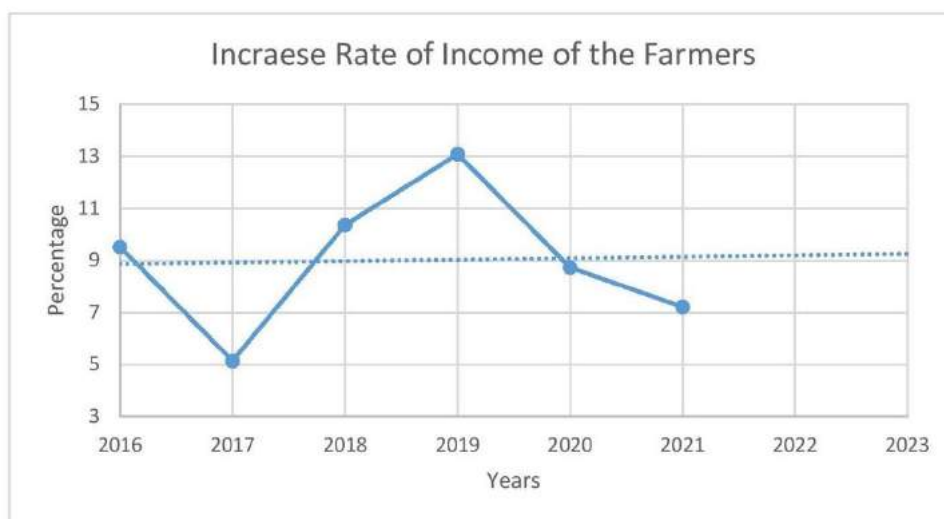


Figure 10: Increase rates of income of the farmers when they sell their tomatoes according to the forecast for the last five years and the coming year

5. Conclusion

In this work, we propose an ICT-based cultivation planning system, named AgriTrade, which offers to farmers the "best" agricultural products for their farms based on the price forecasting and soil analysis by employing the developed ML-based algorithms. Moreover, making use of the forecasted prices information, farmers can store their crops until the time the price is higher according to the predicted prices in order to sell their products at higher prices. AgriTrade introduces a holistic approach for the agrifood chain from farms to retailers, by collecting data from each participant of the chain to see big picture and by allowing interactive collaboration to control the system. Moreover, employing the developed LSTM-based algorithm, AgriTrade provides accurate price forecasting and soil analysis.

To demonstrate the feasibility of AgriTrade, we fulfilled a pilot use case, where we collected the last 15 years' tomato prices of the EU, as well as tomato cultivation types, sown areas, and yield information of Antalya, which is one of the biggest exporter of the EU. We compare the traditional way marketing and the forecast-based marketing. While in the traditional way, the farmers immediately sell their products after it is grown, in the forecast-based marketing, the farmers store their product for a few months and then sell it when the price is higher according to the prices forecasted by the developed LSTM-based algorithm. The results show that if the farmers sell their tomatoes based on the forecasted prices versus the traditional way, they would rise their income around 9.1% and in total, Antalya farmers can make 2M euro additional money, which shows the feasibility of the

e-ISSN: 2148-2683

4.3 Discussion

This demonstration of the scenario clearly denotes that if the farmer can access the information about price forecasts of their crops, they could easily increase their income significantly. The accuracy of price forecast is of great importance for increase rate of the income of farmers. We clearly see that the LSTM-based forecast algorithm of AgriTrade developed in this work provides highly accurate results, which makes it feasible forecasting algorithm for forecast of prices of agricultural products in the future works.

AgriTrade. Our future work will be to show the efficiency of our ML-based algorithms in prediction of soil analysis of a farm using other near farms' soil analysis data.

6. Acknowledgments

I'm very grateful to my colleagues at Bitlis Eren Univeristy for their helpful feedback, especially Dr. Yakup Sahin and Dr. Vedat Tumen.

References

- Aker, J. & Fafchamps, M., (2015) Mobile phone coverage and producer markets: Evidence from West Africa. *World Bank Economic Review* 29 (2), 262-292.
- Alawode, O., Cline, T., Koigi, B., & Defait, V. (n.d.). Artificial intelligence: Matching food demand and supply. Retrieved November 05, 2020, from <https://spore.cta.int/en/dossiers/article/artificial-intelligence-matching-food-demand-and-supply-sid082fb8395-30f5-44f8-96a0-96f11ede4ece>
- Antonopoulou, E., Karetos, S. T., Maliappis, M., & Sideridis, A. B. (2010). Web and mobile technologies in a prototype DSS for major field crops. *Computers and Electronics in Agriculture*, 70(2), 292-301.
- API-AGRO. (2019, April 17). Exploit the value of agricultural data - API-AGRO. Retrieved November 05, 2020, from <https://api-agro.eu/en/>

- Bacco, M., Barsocchi, P., Ferro, E., Gotta, A., & Ruggeri, M. (2019). The digitisation of agriculture: a survey of research activities on smart farming. *Array*, 3, 100009.
- Canakci, M., & Akinci, I. (2004). Antalya bölgesi sera sebzeçiliği işletmelerinde tarımsal altyapı ve mekanizasyon özellikleri. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 17(1), 101-108.
- Comcec Coordination Office, "Improving Agricultural Market Performance: Developing Agricultural Market Information Systems", *Comcec Coordination Office*, February 2018
- David-Benz, H., Galtier, F., Egg, J., Lancon, F., & Meijerink, G. W. (2012). Market information systems. Using information to improve farmers' market power and farmers organizations' voice.
- Deichmann, U., Goyal, A., & Mishra, D. (2016). *Will digital technologies transform agriculture in developing countries?*. The World Bank.
- European Commission. (2020, June 10). EU prices for selected representative products. Retrieved November 05, 2020, from <https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/farming/facts-and-figures/markets/prices/price-monitoring-sector/eu-prices-selected-representative-products>
- Fafchamps, M. & Minten B. (2012) Impact of SMS-Based Agricultural Information on Indian Farmers, *World Bank Economic Review*, 26(3), 383-414.
- Gers, F. A., Schraudolph, N. N., & Schmidhuber, J. (2002). Learning precise timing with LSTM recurrent networks. *Journal of machine learning research*, 3(Aug), 115-143.
- Giesler, S. (2018, March 22). Bioeconomy. Retrieved November 05, 2020, from <https://www.biooekonomie-bw.de/en/articles/dossiers/digitisation-in-agriculture-from-precision-farming-to-farming-40>
- Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). Long short-term memory. *Neural computation*, 9(8), 1735-1780.
- Olah, C. (2015, August). Understanding LSTM Networks. Retrieved November 05, 2020, from <https://colah.github.io/posts/2015-08-Understanding-LSTMs/>
- Özkan, B., Akcaoz, H. V., & Karadeniz, C. F. (2001). Antalya ilinde serada sebze üretimine yer veren işletmelerin ekonomik analizi. *Bahçe*, 30(1).
- Pesce, M., Kirova, M., Soma, K., Bogaardt, M. J., Poppe, K., Thurston, C., ... & Urdu, D. (2019). Research for AGRI Committee—Impacts of the Digital Economy on the Food Chain and the CAP. *European Parliament, Policy Department for Structural and Cohesion Policies: Brussels, Belgium*, 80.
- Seyedmohammadi, J., Sarmadian, F., Jafarzadeh, A. A., Ghorbani, M. A., & Shahbazi, F. (2018). Application of SAW, TOPSIS and fuzzy TOPSIS models in cultivation priority planning for maize, rapeseed and soybean crops. *Geoderma*, 310, 178-190.
- Tayyebi, A., Meehan, T. D., Dischler, J., Radloff, G., Ferris, M., & Gratton, C. (2016). SmartScape™: A web-based decision support system for assessing the tradeoffs among multiple ecosystem services under crop-change scenarios. *Computers and Electronics in Agriculture*, 121, 108-121.
- The Ministry of Agriculture and Forestry of Turkey, & TAGEM, (2018, January), Tarım Ürünleri Piyasaları Domates retrieved 27.04.2020, <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge>
- Trendov, N. M., Varas, S., & Zenf, M. (2019) Digital Technologies in Agriculture and Rural Areas: Status Report. *Food and Agricultural Organization of the United Nations*.
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. J. (2017). Big data in smart farming—a review. *Agricultural Systems*, 153, 69-80.